

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

Г. И. БЛАГОДАРНАЯ

О. В. БУЛГАКОВА

КОНСПЕКТ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

*(для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения
направления подготовки 6.060103 – Гидротехника (Водные ресурсы))*

Харьков – ХНУГХ им. О. М. Бекетова – 2016

Благодарная Г. И. Конспект лекций по дисциплине «Гидротехнические сооружения» (для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 6.060103 – Гидротехника (Водные ресурсы) / Г. И. Благодарная, О. В. Булгакова; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 106 с.

Авторы: канд. техн. наук, доц. Г. И. Благодарная,
канд. техн. наук, доц. О. В. Булгакова

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рекомендовано кафедрой водоснабжения, водоотведения и очистки вод,
протокол № 1 от 28.08.2014 р.

© О. В. Булгакова, 2016
© ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ВИДЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ.....	5
ТЕМА 1 Определение гидротехнических сооружений и их классификация.....	5
ТЕМА 2 Особенности и условия работы ГТС.....	14
ТЕМА 3 Плотины из местных строительных материалов.....	19
ТЕМА 4 Водосбросные и водоспускные сооружения гидроузлов.....	41
2 ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ПОД ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ.....	59
ТЕМА 5 Основные понятия фильтрации.....	55
3 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....	70
ТЕМА 6 Каналы, лотки.....	70
ТЕМА 7 Затворы гидротехнических сооружений.....	77
ТЕМА 8 Другие гидротехнические сооружения.....	82
Список источников.....	105

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехника – отрасль науки и техники, занятая использованием водных ресурсов (рек, озер, морей, подземных вод) для нужд и борьбой с вредным действием вод при помощи гидротехнических сооружений, спец. оборудования и устройств. Гидротехника разрабатывает методы расчета, конструирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, вопросы регулирования речного стока, способы борьбы с вредной эрозионной деятельностью воды, вопросы рационального использования водных ресурсов и др. Главной задачей гидротехники является приспособление естественного режима водотоков к нуждам и потребностям человека для того, чтобы получить воду в нужном месте, количестве и в определенное время.

В задачи гидротехники по борьбе с вредным действием водной стихии входит: борьба с наводнениями, селевыми потоками, подтоплением земель, разрушением берегов течениями волнами; предупреждение отложения наносов на местах, где они затрудняют нормальное использование водных ресурсов (у водозаборных сооружений, на перекатах судоходных рек и др.), образования оврагов и пр. (регуляционные сооружения). К гидротехнике можно отнести и вопросы устройства хвостохранилищ и золоотвалов методами гидромеханизации.

В соответствии с обслуживаемой отраслью водного хозяйства условно различают гидротехнику энергетическую, транспортную, рыбоводную. Разделяют также на речную и морскую, поскольку гидротехнические сооружения на морях и реках имеют свои специфические особенности.

ВИДЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

ТЕМА 1 Определение гидротехнических сооружений и их классификация

План

- 1.1 Общие сведения о гидротехнических сооружениях на водохозяйственных объектах
- 1.2 Понятия о гидротехнических сооружениях и их классификация
- 1.3 Понятие о гидроузлах и гидросистемах, их классификация

1.1 Общие сведения о гидротехнических сооружениях на водохозяйственных объектах

Гидротехникой называется наука об использовании водных ресурсов для нужд водного хозяйства государства и о мероприятиях борьбы с вредными проявлениями водной стихии. Такое же название имеет и соответствующая отрасль техники. Гидротехника рассматривает широкий комплекс вопросов: водные ресурсы и их режим, строения верхней части земной коры, как емкости для воды и основы для сооружений, вопросы проектирования, строительства и эксплуатации гидросооружений.

Вопросами водных ресурсов и их режима занимается *гидрология*. В нее входят *гидрография* – описание природных ресурсов и их учет (водный кадастр), *теория речного стока*, которая устанавливает зависимость его хода (уровней и расходов воды) от разных параметров, – климатических, топографических, геологических и других и *теория (динамика) русловых процессов*, которая изучает закономерности формирования речных русел и движения наносов.

К гидротехнике следует отнести *инженерную гидрологию*, которая занимается прогнозированием режима реки или другого водного объекта в случае строительства на них гидросооружений того или иного назначения: прогноз уровней и расходов воды делается, в частности, на основе теории водохозяйственных расчетов,

Необходимые сведения о геологическом строении района строительства гидросооружений и зоны влияния их подпора и фильтрации воды, которая при этом возникает, о геологических процессах в этом районе получают при изучении геологии (включая гидрогеологию), а также прогноз поведения почв и пород в случае возведения гидросооружений складывается с помощью инженерной геологии и гидрогеологии, а также механики почв и скальных пород. Последним двум дисциплинам следует уделять особенное внимание.

Собственно гидротехника или теория гидротехнических сооружений – наука о проектировании, строительстве и их эксплуатации – базируется, кроме указанных выше гидрологии и гидрогеологии, на ряде прикладных дисциплин. Все расчеты, связанные с водой, ее действием, опираются на гидравлику или техническую гидромеханику; вопросы напряженного состояния и надежности сооружений решаются на базе теории упругости, сопротивления материалов и строительной механики. В вопросах конструирования и строительства сооружений используются такие дисциплины, как инженерные конструкции, технология строительных материалов и строительного производства, экономика строительства.

Гидротехника как наука формировалась в соответствии с потребностями человека в использовании водных ресурсов и с развитием опорных наук : гидравлики, гидрологии, геологии и других.

Гидротехнические сооружения – сооружения, которые подвергаются влиянию водной среды, и предназначены для использования и охраны водных ресурсов, предупреждения вредного влияния вод. В том числе загрязненных жидкими отходами, включая плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспуски и водовыпускные сооружения, тоннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водоемов, берегов и дна русел рек; сооружения (дамбы), которые ограждают золошлакоотвалы и хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий; устройства от размывов на каналах,

сооружения морских нефтегазопромыслов и тому подобное.

Основные задачи гидротехнических сооружений и гидротехники

Основная задача гидротехники заключается в том, чтобы существующий естественный режим водного объекта – реки, озера, моря, подземных вод преобразовать для целесообразного и экономичного водохозяйственного использования и для защиты окружающей среды от вредного воздействия вод.

Вторая задача гидротехники – создание искусственных водных потоков и водоемов, когда естественных вод недостаточно или они отсутствуют.

Третья задача, специальная – создание установок или сооружений для специальных нужд отдельных видов водного хозяйства, например судоходных шлюзов, зданий гидроэлектростанций, насосных станций, рыбоводных систем

1.2 Понятия о гидротехнических сооружениях и их классификация

Гидротехнические сооружения – это инженерные сооружения, которые предназначены для использования природных водных ресурсов (грунтовых вод, рек, озер, морей) или для предупреждения вредного действия воды на окружающую среду (размыв берегов, наводнения, селей). С их помощью можно непосредственно руководить водотоками и водоемами в соответствии с требованиями пользователей (регулировать уровень и расход воды, режим наносов, изменять направление водного потока, осуществлять пропуск льда и тому подобное).

Гидротехнические сооружения строятся в самых разнообразных геологических, гидрологических и климатических условиях, потому их типы и конструкции достаточно разные (всего насчитывается более 100 типов гидротехнических сооружений).

По месту расположения гидротехнические сооружения делятся на речные, морские, озерные, прудовые, внутрисистемные и подземные.

По характеру функций, которые ими выполняются, различают следующие виды гидротехнических сооружений:

а) *водоподпорные* – для создания напора воды (плотины, дамбы);
б) *водопроводные* – для подачи воды к месту ее потребления (каналы, тоннели, лотки, трубопроводы); в) *водозаборные* – для забора воды из водотоков и водоемов; г) *водосбросные* – для сброса избыточной воды, а также для полезных попусков в нижний бьеф (водосливы, глубинные и сифоновые водосбросы); д) *регуляционные* (исправительные) – для укрепления берегов и регулирования взаимодействия речного потока с руслом или регулирования действия волн и течений на берега водоемов (берегоукрепляющие сооружения, струенаправляющие дамбы, шпоры).

Внутрисистемные (или сетевые) мелиоративные сооружения разделяются на *регулирующие* (водовыпуски, водоразделы, подпорные сооружения, которые регулируют уровни воды и другие), *водопроводные* (тоннели, трубы, акведуки, дюкеры, лотки, ливнеспуски) и *сопрягающие*, которые предназначены для гашения энергии на участках каналов, которые имеют большой уклон (быстротоки, перепады и другие).

По целевому (водохозяйственному) назначению все гидротехнические сооружения делятся на две группы: *общего назначения* и *специальные*.

Сооружения общего назначения, к которым относятся водоподпорные, водопроводные и регуляционные, используются для потребностей разных отраслей водного хозяйства, а специальные – для нужд какой-либо одной отрасли водного хозяйства. Различаются специальные гидротехнические сооружения: мелиоративные (каналы, насосные станции и другие сооружения, которые предназначены для орошения, обводнения и осушения земель), водноэнергетические (здания гидроэлектростанций, уравнивательные резервуары, деривационные каналы и другие сооружения, которые предназначены для использования водной энергии), воднотранспортные (каналы, шлюзы, судоподъемники, молы, волноломы, пристани и причалы),

лесосплавные (лотки, бревноспуски, запани, боны), рыбохозяйственные (рыбоподъемники, рыбоходы, рыбоводные ставки), для водоснабжения и водоотвода (водозаборы, насосные станции, каналы, водонапорные башни, коллекторы, очистные сооружения), для борьбы с наводнениями, селями, эрозией почв (защитные дамбы, ливнеспуски), для использования грунтовых вод (подземные водозаборы и другие), для создания шламонакопителей и хвостохранилищ (дамбы, трубопроводы, водосбросы и тому подобное).

В некоторых случаях строятся так называемые совмещенные сооружения, которые выполняют одновременно несколько функций, например совмещенные гидроэлектростанции, которые имеют водосбросные отверстия и тому подобное.

По условиям использования гидротехнические сооружения в соответствии с нормами [1] делятся на постоянные и временные. Постоянные сооружения используются при постоянной эксплуатации объекта, а временные – лишь в период его строительства или ремонта. Постоянные гидротехнические сооружения разделяются на основные и второстепенные.

К основным относятся гидротехнические сооружения, ремонт или авария которых приводит к полной остановке работы объекта или существенно снижает эффект его действия (плотины, водосбросы, каналы, тоннели, здания гидроэлектростанций, регуляторы, насосные станции, водоприемники), а к второстепенным – гидротехнические сооружения и их отдельные части, прекращение работы которых не ведет к тяжелым последствиям (берегоукрепляющие сооружения, ремонтные затворы, служебные мостики, которые не несут нагрузку от подъемных механизмов, ледозащитные устройства).

По капитальности все постоянные гидротехнические сооружения, делящиеся на четыре класса (с I по IV), а временные относятся к V классу. Класс капитальности постоянных гидротехнических сооружений устанавливается согласно нормативов [1] в зависимости от их народнохозяйственного значения с учетом последствий их аварий или

нарушений эксплуатации. Для водоподпорных сооружений класс капитальности определяется по таблице 1.1 в зависимости от их высоты и типа основания и по таблице 1.2 в зависимости от последствий нарушения эксплуатации, причем класс основных сооружений принимается больше по таблице 1.1 и 1.2. Класс капитальности основных гидротехнических сооружений может быть сниженным (кроме сооружений IV класса) или повышенным в сравнении с установленным по таблицам 2.1 и 2.2. При этом берутся к вниманию народнохозяйственное значение объекта, срок его службы, условия эксплуатации, возможные последствия аварии [1].

Таблица 1.1 – Класс основных постоянных гидротехнических сооружений в зависимости от их высоты и типа почв основания

Водоподпорные сооружения	Почвы основания	Высота сооружения, м, для ее класса по капитальности			
		I	II	III	IV
Плотины из грунтовых материалов	Скальные	100	70-100	25-70	25
	Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом и полутвердом состоянии	75	35-75	15-35	15
	Глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии	50	25-50	15-25	15
Плотины бетонные и железобетонные конструкции зданий гидроэлектростанций, сооружения, подпорные стенки и другие бетонные и железобетонные сооружения	Скальные ¹	100	60-100	25-60	25
	Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом и полутвердом состоянии	50	25-50	10-25	10
	Глинистые водонасыщенные	25	20-25	10-20	10

Таблица 1.2 – Класс основных постоянных гидротехнических сооружений в зависимости от последствий нарушения их эксплуатации (социально-экономической ответственности)

Объекты гидротехнического строительства		Класс сооружений
1	Гидротехнические сооружения гидравлических, гидроаккумулирующих и тепловых электростанций мощностью, млн. кВт:	I II-IV
2	Гидротехнические сооружения атомных электростанций независимо от мощности	I
3	Гидротехнические сооружения и судоходные каналы на внутренних водных путях (кроме сооружений речных портов)	II III
4	Гидротехнические сооружения мелиоративных систем при площади орошения и осушения, которая обслуживается сооружениями, тыс. га: свыше 300 свыше 100 до 300 свыше 50 до 100 50 и меньше	I II III IV
5	Подпорные сооружения водохранилищ мелиоративного назначения при объеме, млн. м ³ : свыше 1000 свыше 200 до 1000 свыше 50 до 200 50 и меньше	I II III IV

Если авария временного сооружения может вызывать катастрофические последствия или привести к существенной задержке возведения основных сооружений объектов I, II и III классов, то при соответствующем обосновании допускается повышать класс его капитальности до IV.

В зависимости от класса капитальности сооружения в соответствии с действующими нормативными документами определяется состав и объем изысканий и проектных работ, устанавливаются коэффициенты запаса при расчетах прочности и стойкости, определяются расчетные расходы воды, выбираются вид и качество материалов, которые используются при строительстве.

Гидротехнические сооружения разделяются также по основному материалу, который используется для строительства (земляные, каменные, бетонные, стальные, деревянные и другие), по способу возведения (насыпные, намывные, построенные методом направленного взрыва, монолитные, сборные и другие).

Отдельные типы гидротехнических сооружений классифицируются по высоте и по конструктивным приметам. Эти классификации приводятся в соответствующих разделах учебника.

1.3 Понятие о гидроузлах и гидросистемах, их классификация

Гидроузлом называется группа гидротехнических сооружений, объединенных условиями совместной работы и расположением.

Как и сооружения, гидроузлы классифицируются по ряду признаков.

По месту расположения различают гидроузлы речные, на каналах, морские, озерные и прудовые, а по основному назначению – энергетические, воднотранспортные, водозаборные (для орошения, водоснабжения и тому подобное), водохранилищные (для перераспределения стока рек), а также рекреационные, которые используются для отдыха населения.

Как правило, гидроузлы одновременно разрешают несколько проблем. Так, например, создание водохранилища Днепровского гидроузла (г. Запорожье) привело к затоплению днепровских порогов и в верхнем течении реки Днепр стало возможным судоходство. В составе гидроузла работают две ГЭС общей мощностью свыше 1,5 млн. кВт, а водой из водохранилища орошаются тысячи гектаров плодородной земли.

Гидроузлы могут быть безнапорными (например, морские или речные гавани) и напорные (низконапорные – с напором до 10 м, средненапорные – с напором 10-50 м, высоконапорные – с напором свыше 50 м). Низконапорные гидроузлы строятся на равнинных реках, они предназначены, главным образом, для водозабора или для транспорта. Средне – и высоконапорные гидроузлы

чаще всего выполняют энергетические, ирригационные и транспортные функции.

Гидросистема – это комплекс гидротехнических сооружений, которые могут быть расположены на значительном расстоянии друг от друга, но выполняют общие водохозяйственные задания.

Подобно гидроузлам гидросистемы могут быть комплексными и специализированными. В нашей стране функционирует большое количество гидросистем разнообразного назначения: гидроэнергетического (Киевская ГАЭС), гидромелиоративного (системы, связанные с Северо-крымским каналом), для водоснабжения (система водоснабжения Донбасса) и другие.

Гидросистемы, занимая значительные по площади территории, решают комплекс задач и влияют на экологическую обстановку в регионе. Ошибки в проектировании, строительстве и эксплуатации таких объектов могут привести к тяжелым экономическим и экологическим последствиям.

По величине создаваемого напора гидроузлы делят на:

а) низконапорные, или русловые, в которых нормальный подпорный уровень (НПУ), как правило, не выходит за пределы меженного русла, или затопляет пойму небольшим слоем и частично; величина канала примерно от 2 до 8–10 м;

б) среднего напора, или средненапорные, с величиной напора от 8 – 10 до 34 – 40 м;

в) высокого напора или высоконапорные, величина напора которых превышает 40 м.

В соответствии с водохозяйственными целями, для которых возводят напорные узлы. Их разделяют на: гидроэнергетические, воднотранспортные транспортные, водозаборные, водохранилищные.

В состав гидроузлов входят сооружения основные и вспомогательные. Основные сооружения обеспечивают нормальную работу гидроузла, участвуя в создании необходимого напора, емкости верхнего бьефа и выполнение специальных водохозяйственных функций.

Вспомогательные сооружения, не являющиеся гидротехническими, необходимы для осуществления эксплуатации основных сооружений.

Специальные гидросооружения, применяют в отдельных отраслях водного хозяйства.

К ним относят:

гидроэнергетические сооружения – здания гидроэлектростанций, напорные бассейны, уравнильные башни и шахты;

гидросооружения водного транспорта – судоходные шлюзы, судоподъемники, причальные сооружения, пристани, портовые набережные, лесосплавные и устройства;

гидромелиоративные сооружения (оросительные, обводнительные, осушительные) – шлюзы-регуляторы, отстойники, оросительная и осушительная сеть, дренажные устройства, коллекторы;

гидросооружения для водоснабжения и водоотведения – водозаборы, каптажные сооружения, насосные станции, пруды-охладители, очистные устройства, коллекторы, ливнеспуски и др.;

гидросооружения для рыбного хозяйства – (рыбоходы, рыбоподъемники, рыбоспуски, рыбоводные пруды и бассейны.

ТЕМА 2 Особенности и условия работы гидротехнических сооружений

План

- 2.1 Механическое действие воды
- 2.2 Физико-химическое действие воды
- 2.3 Биологическое действие воды

Гидротехнические сооружения в отличие от других инженерных сооружений работают в постоянном контакте с водой, которая движется или находится в состоянии покоя, и которая оказывает на них механическое, физико-химическое и биологическое действие.

2.1 Механическое действие воды

Оно проявляется в виде статичных и механических нагрузок, которые в значительной степени определяют форму и размеры сооружения, и в первую очередь, должна учитываться при строительстве подпорных гидротехнических сооружений, которые после заполнения водохранилища оказываются под напором и испытывают давление воды. Так, гидростатическое давление, которое действует в горизонтальном направлении со стороны верхнего бьефа, пытается сдвинуть или перебросить сооружение. Заполнение водохранилища приводит к изменению естественного режима руслового потока и грунтовых вод, как в верхнем, так и в нижнем бьефах, что непосредственно влияет на работу водоподпорных сооружений.

Скорость течения в водохранилище в результате увеличения глубины значительно уменьшается в сравнении с естественными условиями, однако на подходе к водосбросным сооружениям она увеличивается и может вызывать размывы дна в верхнем бьефе (такая опасность возникает, например, при пропускании воды сквозь донные отверстия), который требует в необходимых случаях устройства перед сооружением крепления.

При прохождении потока с большими скоростями (20–30 м/с и больше) через водослив возникают динамические нагрузки на сооружение, а в нижнем бьефе энергия потока может вызывать размывы почв основания, которые достаточно опасные для сооружения, потому в таких случаях необходимы соответствующие защитные мероприятия (например, устройство водобоя, рисбермы).

Динамические нагрузки на гидротехнические сооружения возникают также при ударах волн, при движении фильтрационного потока в основании и теле сооружения, при действии сейсмических сил во время землетрясения, которые кроме непосредственного действия на сооружение вызывают дополнительные инерционные силы в прилегающих к ней массах воды, а в сооружениях из почвы, насыщенной водой, определяют появление динамического порового давления.

В зимний период возможно возникновение статичных нагрузок на сооружение при термическом расширении сплошной ледяной сени или при нашествии ледяных полей под действием ветра и течения, динамических нагрузок от ударов плавающего льда при пропуске его сквозь гидроузлы, а также нагрузок от примерзлой ледяной сени при колебаниях уровня воды, которые могут привести к нарушению крепления откосов земляных плотин.

При фильтрации воды в основании сооружения возникает так называемое противодействие – фильтрационное давление, направленное снизу вверх, которое уменьшает сопротивление сооружения сдвигу, который зависит от веса самого сооружения. Фильтрационный поток может вызывать в почвах основания разнообразные виды фильтрационных деформаций: механическую и химическую суффозию, выпор почвы при выходе фильтрационного потока в нижний бьеф, контактный размыв.

Большое влияние имеет фильтрационный поток на работу земляных плотин, значительная часть которых находится в зоне его действия. Повреждения таких сооружений, которые наблюдаются на практике, часто связаны с фильтрацией воды. Например, фильтрационные силы вместе с силами притяжения могут вызывать обвал откосов плотин, возможны разные виды фильтрационных деформаций таких сооружений.

2.2 Физико-химическое действие

Вызывает коррозию металлических элементов, кавитацию, которая может возникать в зонах, где поток обтекает сооружение с большими скоростями и образуется значительный вакуум, химическую суффозию в почвах основания, которые содержат легкорастворимые вещества (каменную соль, гипс) и тому подобное.

2.3 Биологическое действие воды

Биологическое действие воды связано с жизнедеятельностью разных организмов, которые в ней живут. В результате может происходить зарастание трубопроводов, гниение деревянных сооружений и тому подобное.

Неодинаковое действие воды на гидротехнические сооружения в сочетании с рядом других возможных действий (сейсмика, колебание температуры и тому подобное) и самыми разнообразными климатическими, инженерно-геологическими и гидрологическими условиями строительства предопределяет необходимость индивидуального подхода к проектированию каждого сооружения. Это, конечно, не исключает возможность и необходимость использования типовых проектов разных сооружений и отдельных элементов, к которым относится ряд общих, обязательных требований, они отображены в действующих нормативных документах.

Строительство гидротехнических сооружений, особенно больших гидроузлов и гидросистем, существенно влияет не только на экономику целых районов, но и на естественные условия окружающих территорий. Появление больших водохранилищ с огромными запасами воды, распространения подпора от больших гидроузлов на десятки километров вверх по течению, орошение безводных земель и осушение болот превращает растительный и животный мир района, изменяя в зонах больших водохранилищ в определенной мере даже климат.

Гидротехнические сооружения относятся к числу наиболее ответственным. Авария большого подпорного сооружения привести к самым тяжелым последствиям, связанным с человеческими жертвами и необходимостью восстановления самого сооружения, а также промышленным объектам, транспортным магистралям и населенным пунктам, расположенным ниже по течению.

За последние 200 лет на земном шаре зарегистрировано свыше 300 случаев разрушения плотин. В 1889 году при разрушении земляной Соутфорской плотины в США в результате перелива воды через гребень погибло около 2500 людей. Ряд больших аварий случилось в последние годы (разрушение плотин Мальпасе во Франции, Титон в США, Саяно-Шушенская ГЭС и другие).

Известные аварии гидротехнических сооружений разного типа были вызваны, в основном, следующими причинами: переливом воды через гребень,

сосредоточенной фильтрацией сквозь тело сооружения или основание, химической суффозией, деформациями и сползанием откосов земляных плотин, сейсмическими и волновыми действиями. Разрушение в результате указанных причин стало возможным, главным образом, из-за недостаточного изучения инженерно-геологических условий в створах сооружений, которые проектируются, и районах водохранилищ, неправильного учета всех факторов, которые влияют на работу сооружения, низкого качества производства работ. Указанные вопросы требуют пристального внимания со стороны инженеров-гидротехников.

Гидротехнические сооружения имеют ряд особенностей, связанных с выполнением работ при их сооружении. Строительство в пределах водных пространств требует обеспечения пропуска строительных расходов и судоходства на водных магистралях с большим грузооборотом. Принятая схема пропуска строительных расходов в значительной степени определяет календарный план строительства.

Гидротехническое строительство отличается массовостью основных работ. К числу основных относятся бетонные и земельно-скальные работы, которые составляют по стоимости и трудоемкости до 80% общего объема работ. Очевидно, что такие работы могут быть произведены в достаточно короткие сроки только при условии их максимальной механизации, которая базируется на комплексном использовании высокопроизводительных механизмов.

ТЕМА 3 Плотины из местных строительных материалов

План

- 3.1 Определение плотин. Их классификация
- 3.2 Выбор типа плотины
- 3.3 Бетонные и железобетонные плотины
- 3.4 Грунтовые плотины
- 3.5 Деревянные плотины

3.1 Определение плотин. Их классификация

Плотина – гидротехническое сооружение перегораживающее водоток или водоём для подъёма уровня воды. Также служит для сосредоточения напора в месте расположения сооружения и создания водохранилища.

Классификация плотин по целям их устройства

Эта классификация наименее четка, так как чаще всего назначение плотин бывает комплексным. Правильнее будет делить плотины и гидроузлы по степени регулирования стока. Если плотина создает лишь подъем воды и не может сколько-нибудь существенно регулировать сток, она называется водо-подъемной.

Плотина называется водохранилищной, если она и гидроузел в целом обеспечивают регулирование стока реки. Однако особой четкости и в таком делении плотин нет, так как водохранилищная плотина создает обязательно подъем воды перед собой, т.е. выполняет функции и водоподъемной; водоподъемная же может в некоторой мере выполнять задачи частичного, например, суточного, регулирования стока, для которого не требуется накопления значительных объемов воды в верхнем бьефе.

Классификация плотин по основному материалу, из которого они выполняются

Земляные плотины, основным материалом которых является земля, т.е. песчано-глинистый, песчаный и тому подобные грунты. Это самый древний вид плотин, получивший в последнее время новое развитие; наибольшая достигнутая высота таких плотин – около 140 м.

Плотины из каменной наброски и из сухой каменной кладки, в основном выполняемые из камня без применения вяжущих веществ. Наибольшая достигнутая высота таких плотин – около 125 м.

Плотины каменно-земляные, в которых применены земля и каменная наброска; наибольшая осуществленная высота таких плотин – 115 м.

Каменные плотины, выполняемые из каменной (бутовой) кладки на растворе, широко распространенные в 19 и начале 20 в., в настоящее время из-за невозможности широкой механизации процесса кладки строятся редко. Наибольшая высота их – 95 м.

Бетонные плотины, являющиеся в настоящее время наиболее распространенными во всех странах. Наибольшая достигнутая высота их 222 м, в постройке – плотина высотой 278 м.

Железобетонные плотины, в которых в основном применен железобетон, хотя имеются и бетонные элементы, а иногда даже и каменная кладка. Эти плотины достигают высоты до 92 м.

Деревянные плотины, имеющие обычно каменную или земляную загрузку (в частности ряжевые плотины); имеют обычно небольшую высоту, но есть примеры плотин до 22 м.

Стальные плотины двух типов:

а) с неподвижными металлическими частями (имеется лишь несколько примеров, наибольшая высота до 22 м);

б) с металлическими подвижными частями или затворами, которые фактически несут всю нагрузку от воды (например, плотины с поворотными

фермами, с поворотными рамами, мостовые и др.); плотины эти широко распространены и обычно имеют небольшой напор.

3.2 Выбор типа плотины

Выбор типа и конструкции плотины является основным вопросом при проектировании, поскольку от правильного его решения зависит как стоимость сооружения, так и успешность его возведения и эксплуатации. Главным критерием при выборе типа и конструкции плотины является технико-экономическая целесообразность; последняя может быть достигнута за счет широкого использования дешевых местных грунтовых материалов (без использования привозных), применения промышленных методов строительства и обеспечения бесперебойного ведения строительства в данных климатических условиях.

При наличии на месте грунтовых материалов, пригодных для устройства противофильтрационного элемента плотины, преимущественное предпочтение следует отдавать каменно-земляному типу плотины, как полностью удовлетворяющему вышеприведенным условиям. К каменно-набросному типу следует прибегать лишь при отсутствии грунтов для ядра или экрана либо при весьма тяжелых климатических условиях для их укладки и уплотнения.

Кроме того, каменно-набросной тип плотины, как правило, может быть выбран при наличии в основании скальных пород.

Выбор типа плотины – каменно-земляной или каменно-набросной, зависит от многих факторов и прежде всего от технико-экономического преимущества.

Для выбора каменно-земляной плотины необходимо прежде всего выявить запасы каменных и грунтовых материалов, их баланс и соотношение стоимостей. Известно, что разработка каменных карьеров обходится дороже грунтовых; однако дальнейшее расположение грунтовых карьеров или необходимость переработки их материалов часто изменяют соотношение стоимостей в обратную сторону. Коренное изменение в стоимостные

показатели вносит использование материалов из полезных выемок; очень часто это обстоятельство решает выбор вида плотины.

Кроме того, на выбор типа плотины большое влияние оказывают состав и физико-механические свойства каменного материала для призм и фильтрационные свойства грунта для противофильтрационного элемента, а также температурные и влажностные условия района строительства и сейсмичность.

При таком многообразии факторов выбор типа плотины, разумеется, следует осуществить путем подробного рассмотрения и технико-экономического сопоставления наиболее приемлемых вариантов.

Из практики плотиностроения следует, что из всех видов каменно-земляных плотин самыми универсальными являются плотины с ядром или с центральной грунтовой призмой, позволяющие широко применять принцип зонального расположения камня и грунта в теле плотины. По такому принципу запроектировано большинство высоких и сверхвысоких плотин из местных материалов.

На плотине Фурнас благодаря зональному распределению материала в наброске 78% камня уложено из полезных выемок. В плотине Кугар можно различить четыре зоны укладки каменного материала разной крупности, прочности и степени уплотнения. В плотине Саммерсвил число зон укладки еще больше. Во внутренней зоне плотины Кокин Брод использованы выветренные известняковые сланцы и выветренный известняк, ранее отклоняемые как материалы для высоких плотин; зонирование осуществлено и в ядре плотины. В плотине Инфернильо каменная наброска состоит из зон с крупностью камня в 25 см, 45 см и глыб массой до 1 т. В плотине Хольес (81 м) для наброски использован камень из выемок туннеля, здания ГЭС, каналов и других сооружений, а в средней части профиля уложены песчано-гравелистые грунты. Такое решение привело к экономически выгодному типу плотины. В плотине Макио применены сильно развитые переходные зоны из песчано-гравийной смеси, так как смесь значительно дешевле камня. Принцип

зональности и использования выходов из котлованов применен также в плотинах Раунд Батт, Тринити, Амбуклао, Картере, Мангла и др.

Использование камня из полезной выемки предусматривалось также в проекте Намахванской плотины высотой 161 м (этот вариант конкурировал с вариантом арочной плотины). Камень для наброски боковых призм должен был добываться из котлована открытого эксплуатационного водосброса, расположенного в непосредственной близости на правому берегу.

Следует отметить, что использование материала из полезных выемок и зональная укладка камня и грунтов в тело плотины вполне приемлемы и для плотины с грунтовым экраном. Примером такого использования является плотина Браунли, где 41% объема наброски получен из котлованов гидроэлектростанции, отводящего канала, водосбросных и водозаборных сооружений; благодаря зональной укладке камня разных размеров с возрастанием крупности от верхового откоса к низовому, был использован весь материал почти без отбросов. Зональная укладка камня была осуществлена и в плотине Нантахала, в низовую часть профиля которой сбрасывался крупный материалов верховую каменная мелочь, полученные из полезных выемок котлованов водосбросных сооружений.

Выбор вида плотины должен производиться не только по материалу боковых призм, но и по материалу противофильтрационного устройства, при этом это должно решаться в тесной увязке с климатическими условиями района.

Известно, что укладка грунтовых материалов в ядро плотины требует соблюдения влажностного и температурного режимов, обеспечивающих получение проектной плотности. Для поддержания оптимальной влажности нередко приходится прибегать к искусственной сушке или увлажнению, требующих дополнительных средств и времени; соблюдение же положительных температур для предохранения грунта от промерзания приводит к сезонности выполняемых работ либо к применению химических добавок, обогрева и других специальных мер. Тем не менее при выборе типа и

конструкции плотины предпочтение следует отдавать плотинам с экраном или ядром из грунтовых материалов, а к экранам из негрунтовых материалов прибегать в основном лишь при отсутствии подходящих грунтов.

Тяжелые климатические условия – частые ливневые осадки и длительность морозного периода – осложняют укладку ядра или экрана, но не исключают возможность их устройства. В практике плотиностроения известно много случаев возведения плотин с грунтовым ядром или экраном в суровых климатических условиях, а также в условиях тропического климата с изобилием ливневых дождей.

Плотина Гешенеральп, например, возведена в высокогорной альпийской зоне. Из-за суровых зимних условий работы велись периодами, составившими 150–170 дней в году, что соответственно удлинило срок строительства (5 лет).

В условиях тропического климата построены высокие плотины Миборо, Акосомбо, Джатилухур, Амбуклао и Бинга. В суровых зимних условиях построены плотины Мессауре, Иркутская, Вилуйская, Серебрянская I, Усть-Хаптайская. Плотина Кении также построена в районе с низкой зимней температурой.

Из приведенного можно заключить, что строительство плотин с экраном или ядром из грунтовых материалов вполне возможно, и при тяжелых климатических условиях. Однако это должно быть экономически и технически обосновано, так как дополнительные мероприятия, необходимые для обеспечения бесперебойного ведения работ, могут удорожить и замедлить строительство настолько, что целесообразнее окажется отказаться от грунтового ядра или экрана либо вообще от плотины из местных грунтовых материалов.

Так, были отклонены, например, варианты плотин из грунтовых материалов для Ингурской, Бзыбской и На-махванской ГЭС (несмотря на их сравнительную экономичность), поскольку район строительства плотин

отличается изобилием осадков (2100 – 1700 мм/год) и возведение ядра из суглинистых грунтов удлинило бы сроки строительства.

При составлении вариантов к выбору типа плотины чаще всего возникает вопрос – что предпочтительнее, грунтовый экран или грунтовое ядро.

Поскольку известны преимущества и недостатки обоих устройств, выбор типа между экраном и ядром из грунтового материала следует производить исходя из того, какие из преимуществ того или другого имеют доминирующее значение в данных конкретных условиях строительства. Например, плотина с грунтовым экраном дает возможность опережающего выполнения наброски против возведения экрана, что весьма важно при строительстве в районах с сезонным ограничением работ по укладке грунта. В частности, при неблагоприятных климатических условиях тип с экраном позволяет форсировать работы по устройству наброски независимо от возведения экрана. Устройство экрана вместо ядра также создает возможность выполнять наброску вне зависимости от работ по цементации основания, поскольку последняя устраивается под зубом экрана и может выполняться с некоторым отставанием. Это обстоятельство создает условия для отказа от цементационных галерей или штолен, обычно необходимых для ведения цементации под ядром плотины одновременно с ее возведением. Следует отметить, однако, что для высоких плотин, особенно сверхвысоких, указанные галереи и штольни бывают необходимы не только в период строительства плотины, но также в период временной эксплуатации, поэтому часто они предусматриваются и под экранами.

Кроме указанного, плотина с экраном имеет еще то преимущество, что при вводе станции в эксплуатацию до полного окончания плотины объем ее первой очереди получается меньше, чем при устройстве ядра, что сокращает срок сдачи первой очереди ГЭС.

Если нет к плотине вышеперечисленных специфических требований, которые лучше удовлетворяются при устройстве экрана, то плотина с ядром

целесообразнее, так как она получается меньше по объему благодаря большей крутизне верхового откоса.

Кроме того, плотина с ядром значительно лучше сопрягается с береговыми склонами, особенно с крутыми, и с примыкающими бетонными сооружениями, что весьма важно с точки зрения осуществления мероприятий против контактной фильтрации. Иногда ядро плотины принимается слегка наклонным в сторону верхнего бьефа, что улучшает условия устойчивости низового откоса без заметного ухудшения таковых для верхового. Указанное наиболее актуально при наличии порового давления.

Каменно-набросные плотины, как указывалось ранее, бывают двух видов с экраном и с диафрагмой. Выбор между экраном и диафрагмой должен быть обоснован технико-экономическим сопоставлением. Экраны каменно-набросных плотин отличаются большим разнообразием материала, типа и конструкции.

При проектировании каменно-набросных плотин с бетонными и железобетонными экранами из-за относительно малой гибкости их конструкции требования к составу камня для наброски и к ее уплотнению должны быть повышенные по сравнению с требованиями к наброске в теле каменно-земляных плотин.

Опыт строительства высоких плотин с железобетонными экранами показывает, что для них наброска осуществлялась преимущественно из крупного карьерного камня с ограничением мелочи. Из крупного карьерного камня с заполнением пустот мелким камнем построены плотины Парадела, Уишон, Солт Спрингс, Когсвилл и др. В плотине Когсвилл была осуществлена, однако, некоторая зональность для лучшего использования материала карьера.

По крупности камень делился на три категории, из которых наивысшая — массой 6,35 т — укладывалась в подэкрановую сухую кладку, средняя — 2,75 т. в низовой откос и его упорный клин, наинизшая, состоящая из камней разной крупности от 0,45 до 2,75 т. — в основное тело плотины.

При эксплуатации в плотине Дике Ривер произошло расстройство швов железобетонного экрана вследствие больших осадок каменной наброски. Повреждения имелись также на экранах плотин Парадела, Солт Спрингс. По отдельным неудачным примерам не следует делать обобщений, но следует учесть, что экраны каменно-набросных плотин весьма чувствительны к осадкам набросного тела.

Плотины с диафрагмой применялись сравнительно редко и для небольших напоров (до 50 м). Высоких плотин с диафрагмой не имеется, так как конструкции диафрагм сложны и не совершенны. Применялись диафрагмы либо из железобетона (Харспрангет, Уэд Кебир), либо из асфальтобетона (Дюн Вэлей и др.). Имеются примеры плотин с диафрагмой из волнистой стали (Бевер), а также из двухрядной шпунтовой стенки (Серебрянская II, Нижнесвирская). В Советском Союзе осуществлена плотина с полиэтиленовой диафрагмой (Атбашинская), представляющая большой интерес. Плотина сооружена без разработки котлована путем отсыпки гравелисто-галечного грунта в тиковод, образованный перемычкой. На насыпи уложена бетонная массивная плита, выше которой устроена вертикальная трехслойная пленочная диафрагма из стабилизированного полиэтилена. Ниже плиты выполнена многорядная цементационная завеса, являющаяся противифльтрационной диафрагмой в насыпи аллювия.

Резюмируя все вышеизложенное относительно выбора типа каменно-земляных и каменно-набросных плотин, можно прийти к следующим выводам:

При наличии на месте грунтовых материалов, пригодных для устройства ядра или экрана, не следует прибегать к устройству экранов из искусственных материалов. При необходимости их устройства для высоких плотин применение экранов из того или другого материала должно быть тщательно обосновано как по условиям прочности применяемого материала и надежности устраиваемых швов, так и с учетом производственных затруднений по осуществлению мероприятий, обеспечивающих минимальную деформированность наброски и экрана.

Согласно СНиП II-53-73 асфальтобетонные экраны допустимы в районах с умеренно-континентальным климатом (абсолютный минимум – 45°C), поэтому их применение в этих условиях в некоторых случаях может оказаться целесообразнее железобетонных.

Выбор вида грунтового противофильтрационного элемента плотины экрана, ядра, верховой и центральной грунтовой призмы – должен производиться исходя из баланса и качества имеющихся каменных и грунтовых материалов для их устройства и соотношения их стоимостей с учетом климатических и производственных условий.

При сопоставлении вариантов необходимо принимать во внимание следующее: плотина с ядром экономичнее плотины с экраном, особенно при грунтах с низкими сдвиговыми показателями. Целесообразнее ядро принимать с небольшим наклоном в сторону верхнего бьефа (1:0,2 – 0,5); слабонаклонное ядро придает низовому откосу большую устойчивость.

При сезонных ограничениях в производстве работ по плотине, требующих опережающего выполнения наброски против экрана, а также при вводе плотины в эксплуатацию по очередям наиболее целесообразной является плотина с грунтовым экраном, так как объем плотины первой очереди получается меньше.

Во всех тех случаях, когда на месте имеются дешевые грунтовые материалы для развития переходных зон, заменяющих собою часть дорогостоящей каменной наброски боковых призм, такая замена эффективна. В числе грунтовых материалов может быть использована также каменная мелочь из котлованов сооружений или из туннелей и отходы сортировочных установок.

Применение металла, а также леса в экранах плотин допустимо в случаях, показывающих технико-экономические преимущества такого решения и возможности ускорения строительства плотины. Расширение производства антикоррозионных сталей в последнее время позволит применять металлические экраны для высоких каменно-набросных плотин, что даст

возможность ускорить строительство этих плотин, особенно в тяжелых климатических условиях, и уменьшит объем скальных работ по сопряжению противофильтрационных устройств с берегами.

Каменно-набросные плотины с экранами или диафрагмами из полимерных материалов постепенно внедряются и имеют большие перспективы развития.

3.3 Бетонные и железобетонные плотины

Бетонные плотины делят на контрфорсные и арочные и гравитационные.

Гравитационные в поперечном разрезе имеют форму треугольника или трапеции.

Контрфорсные плотины представляют собой стены более тонкие, чем ,в гравитационных плотинах, но они усилены контрфорсами стенками, расположенными со стороны нижнего бьефа нормально к основной и подпирающими ее .

Арочные плотины имеют в плане всегда криволинейное очертание. Бетонные плотины бывают **глухими**, если они не пропускают воды в нижний бьеф, и **водопрпускными, водосбросными**, если они имеют отверстия для сброса воды.

В первом случае вода верхнего бьефа, притекающая к плотине, удаляется через другие сооружения, возводимые рядом с глухой плотиной (например, через здание гидроэлектростанции, береговые водосбросы), или отводится из верхнего бьефа с помощью водопроводящих сооружений (каналов, трубопроводов, туннелей) к потребителям, например в системы водоснабжения или орошения ,и др.

В водопрпускных плотинах вода пропускается в нижний бьеф через отверстия, которые могут быть: поверхностные или водосливные (рис. 3.1, а, б) или погруженные под уровень воды верхнего бьефа – глубинные (рис. 3.1, г), в частности донные (рис. 3.1, в).

Наличие затворов позволяет регулировать расходы воды, выпускаемые из верхнего бьефа (водохранилища).

При наличии глубинных затворов можно выпускать воду из водохранилища при любом НПУ, маневрируя затворами (рис. 3.2).

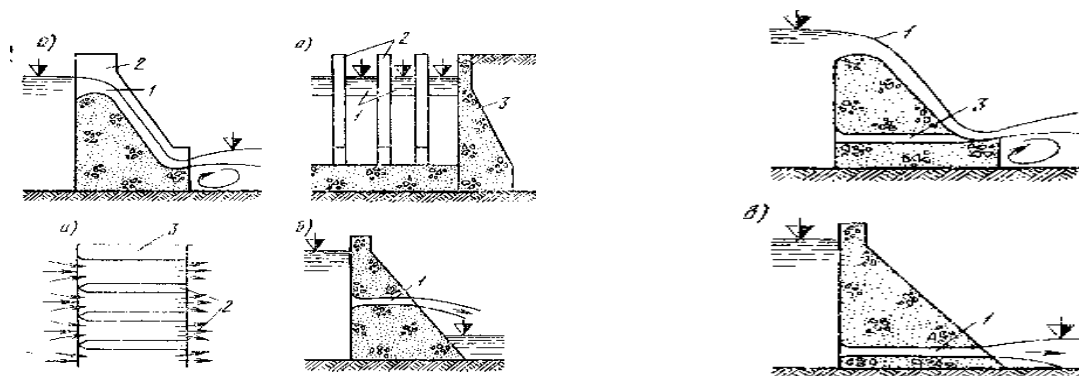


Рисунок 3.1 – Схемы водосбросных отверстий в плотине

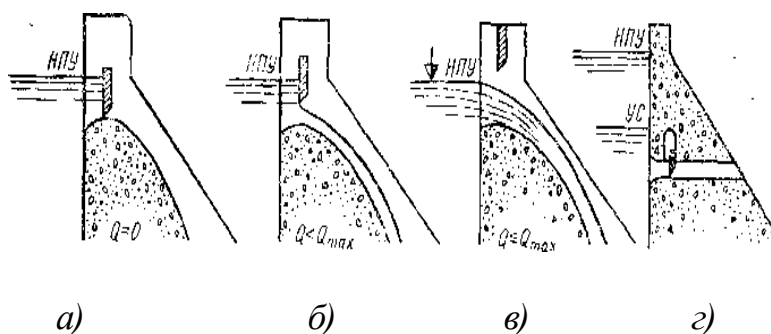


Рисунок 3.2 – Схемы работы затворов

Контрфорсные плотины являются, пожалуй, самыми технически сложными из всех типов плотин. Как и гравитационные, они передают нагрузку на основание, но делают они это с помощью специальных подпорных стенок – контрфорсов. Такая конструкция позволяет существенно сократить требуемое количество бетона (а соответственно и стоимость), по сравнению с обычной гравитационной плотиной (на 20–40%, а иногда и на 60%).

В то же время, контрфорсные плотины гораздо сложнее гравитационных в строительстве и более требовательны к качеству грунтов основания. К настоящему времени, в мире построено более 500 контрфорсных плотин различных типов.

Контрфорсные плотины представляют собой перекрытия – массивные или тонкие плиты, своды воспринимающие напор воды верхнего бьефа и опирающиеся на вертикальные стенки – контрфорсы, которые передают нагрузку от перекрытий основанию.

Дополнительным элементом конструкции могут быть балки жесткости или распорки между контрфорсами, препятствующие выпучиванию (продольному изгибу) последних.

Классификация контрфорсных плотин

Конструктивно, все контрфорсные плотины разделяются на три типа: массивно-контрфорсные, с плоскими перекрытиями и многоарочные.

По типу контрфорсов различают:

а) плотины с массивными бетонными, сплошными или полыми контрфорсами;

б) плотины с тонкими бетонными и железобетонными контрфорсами, сплошными

Известна плотина с перекрытиями двоякой кривизны или многокупольная – **плотина Кулиджа**, но такие плотины пока не получили распространения или сквозными.

Массивно-контрфорсные плотины, напорная грань которых формируется уширением весьма толстых контрфорсов, получили наибольшее распространение в связи с относительной простотой и технологичностью их строительства, сейсмостойкостью, меньшей требовательностью к породам основания.

Единственная ГЭС с контрфорсной плотиной в России – Зейская, имеет именно массивно-контрфорсную плотину. Другой пример массивно-контрфорсной плотины – одна из крупнейших в мире ГЭС Бразилия (там плотина сборная, состоит из контрфорсной, гравитационной и земляной частей). Недостатком массивно-контрфорсных плотин является наибольший по сравнению с другими типами расход бетона.

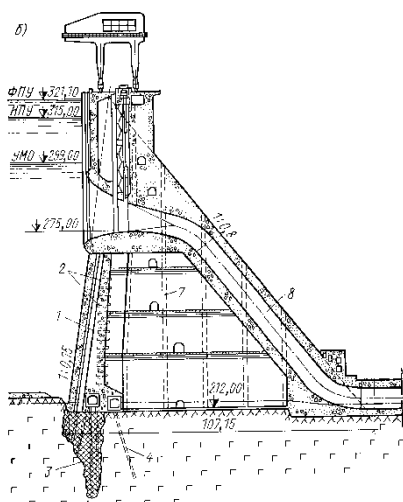


Рисунок 3.3 – Массивно-контрфорсная плотина на реке Зея

Контрфорсные плотины с плоскими перекрытиями

Эти плотины из железобетона были особенно распространены при сравнительно небольших напорах в начале нашего века (так называемые плотины типа Амбурсена), но в настоящее время строительство их резко сократилось. Немного строилось и плотин более высоких (до 30-40 м) на скальных основаниях (главным образом в Скандинавских странах). Наибольшей высоты – 76м достигла плотина Родригес в Мексике.

Контрфорсные плотины с плоскими перекрытиями имеют довольно тонкую, значительно наклоненную напорную плиту, усилия от которой передаются на контрфорсы. При большой экономии бетона, плотины такого типа требуют большого расхода арматуры (т.е. они не бетонные, а железобетонные), в связи с чем их стоимость довольно высока и в настоящее время их почти не строят.

Расстояния между контрфорсами бывают от 44-5,5 м в плотинах на нескальных основаниях до 12-13 м в высоких плотинах на скальном основании.

Недостатками контрфорсных плотин по сравнению с гравитационными являются:

– большая сложность производства работ по их возведению, в частности пропуска речных вод через строящуюся плотину, особенно на многоводных реках;

- необходимость специальных мероприятий по обеспечению сейсмостойкости плотин (исключение – массивно-контрфорсные плотины);
- в многоарочных плотинах – чувствительность статически неопределимых перекрытий к колебаниям внешней температуры и к осадкам контрфорсов, осложнения при устройстве эксплуатационных водосбросов.

Многоарочные плотины являются самыми сложными, но и самыми экономичными из контрфорсных плотин. Их напорный фронт образуется несколькими арками, передающими усилия на контрфорсы. И арки, и контрфорсы можно сделать довольно тонкими, что дает большую экономию бетона, особенно в широких створах. В то же время, многоарочные плотины технологически сложны, требовательны к качеству пород основания и температурному режиму, в них трудно сделать водосбросы и требуются специальные меры по обеспечению сейсмостойкости.

В железобетонных плотинах арочные перекрытия армируются обычно двойной прутковой арматурой или же жесткой в виде ферм.

Для повышения водонепроницаемости арок напорная грань их покрывается торкретом или слоем битума, или тем и другим; иногда слой битума или асфальта защищается бетонными плитами, а на французской плотине Селюн, имеющей исключительно тонкие стенки, напорная грань покрыта металлическим экраном.

Форма арок большей частью круговая, толщина арочных колец обычно постоянная, хотя утолщение к пятам было бы полезно и иногда производится.

В случае тонких контрфорсов может возникать опасность потери устойчивости (выпучивание), в таком случае контрфорс усиливают балками жесткости, ребрами жесткости (вертикальными или наклонными), или, что чаще, делают контрфорс полым, усиленным диафрагмами.

Бетонные гравитационные плотины широко распространены во всем мире благодаря простоте конструкции и способов их возведения, надежности их при любой их высоте, в любых природных условиях, в том числе и суровых зимних.

Современное плотиностроение знает много примеров высоких бетонных плотин гравитационного типа, к числу которых относятся Токтогульская, Братская, Красноярская и другие, имеющие высоту более 100-200 м.

В основании таких плотин развиваются напряжения, превышающие 5 МПа, что позволяет возводить их только на весьма прочных скальных породах. Поэтому все выветренные и другие слабые разности пород из основания таких плотин полностью удаляются и плотина опирается на не выветренную скалу.

Вторым важным условием, определяющим устойчивость гравитационной плотины, является требование, чтобы давление, создаваемое сооружением на грунты основания, не превышало допустимых пределов и было только сжимающим. Развитие растягивающих напряжений между сооружением и основанием даже на небольшой части площади основания является недопустимым.

В целях повышения устойчивости плотины на сдвиг, особенно при опирании ее на основание, сложенное скальными породами, часто применяют устройство наклонного сопряжения с основанием, заглубление верхового края фундамента и устройства зуба или двух зубьев. Массивные гравитационные плотины на скальном основании строят глухими или водосливными, обычно прямолинейными в плане.

В реальных условиях на плотины действуют и другие нагрузки; давление наносов в верхнем бьефе, давление ледяного покрова, давление волн, сейсмические нагрузки и др. Это вызывает необходимость несколько исправить профиль плотины.

Так, силы давления наносов W_n и давления льда и сейсмические силы W_c а) могут потребовать уширения подошвы плотины и наклона (полного или частичного, б) волновые явления в верхнем бьефе, в) помимо увеличения горизонтальных сил требуют повышения гребня плотины на величину A_h .

Формы реальных профилей плотин зависят еще от условий сопряжения плотины с основанием и примыканий ее к берегам или другим сооружениям, а

также от различных специальных мероприятий по повышению экономичности плотин и уменьшению затрат объема бетона .

Поперечный профиль плотины, ее основные размеры, подлежат проверке общей прочности и устойчивости тела плотины и ее основания в разных стадиях ее работы.

При этом с учетом основных и особых сочетаний нагрузок и сил, в некоторых случаях делается проверка местной прочности и устойчивости отдельных частей и зон сооружения.

В расчетах рассматриваются следующие случаи:

Случай постоянной эксплуатации полностью возведенного сооружения, когда плотина может подвергнуться воздействию всех возможных основных и особых сочетаний нагрузок, при наиболее неблагоприятном их комплексе. Этот случай – основной.

Строительный случай, когда плотина выстроена, но нагрузки от воды не имеет (находится в осушенном котловане, фильтрационных сил нет), но прочие нагрузки могут иметь место.

Если плотина в период строительства начнет эксплуатироваться при частичном напоре, будучи недостроенной до полной высоты, что нередко в практике имеет место, то и этот строительный случай должен быть рассмотрен.

Ремонтный случай, когда ведутся работы на части плотины.

Общие конструктивные особенности гравитационных плотин

Как уже было отмечено, конструкции бетонных гравитационных плотин в значительной мере диктуются характером их основания – скальным или нескальным; от этого зависит и предельная экономичная высота (напор) сооружений: для нескальных оснований это не более 35-40 м, для скальных предельный напор, осуществленный на практике, достигает почти 300 м (плотина Гранд-Диксанс – 284 м). Теоретически высота может быть и больше.

Расположение плотин в плане. Обычно ось плотины прямолинейна, хотя бывают и ломаные и криволинейные (Днепрогэс), что вызывается обычно геологическими условиями (расположить плотину на наиболее надежных однородных породах), иногда топографическими. Кроме того, играет роль общая компоновка сооружений в гидроузле.

Плотина может примыкать к берегам и к другим сооружениям гидроузла, довольно часто к зданию гидроэлектростанции или шлюзу.

Зонирование бетона в теле плотины

Во всех зонах бетон прежде всего должен удовлетворять условиям прочности в соответствии с их напряженным состоянием (рис. 3.4). Но в контурных зонах бетон подвергается еще влиянию внешних факторов: колебаниям температуры воздуха, фильтрации воды, истиранию водосливных поверхностей, поэтому здесь бетон должен удовлетворять еще дополнительным требованиям.

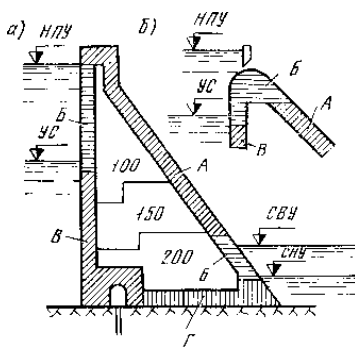


Рисунок 3.4 – Схема зонирования бетона

Так, в зоне, открытой всегда воздействию атмосферных факторов, главным образом колебаниям температуры воздуха (зона обозначена буквой А), необходимо укладывать морозостойкий бетон в глубину от поверхности не менее глубины промерзания бетона.

В водосливной плотине бетон водосливной грани (зона А) в случае значительных скоростей течения воды должен хорошо сопротивляться истиранию.

В зонах колебания уровней воды в водохранилище и в нижнем бьефе (зона **Б**) бетон должен быть водостойким, водонепроницаемым и морозостойким.

В зоне, постоянно находящейся под водой и подвергающейся напору (зона **В**), бетон укладывают водостойкий и водонепроницаемый.

В зоне **Г** подошвы, за пределами цементационной завесы и дренажа, а также по низовой грани, находящейся постоянно под водой, требование водонепроницаемости может быть снижено или вообще снято.

Границы зон на профиле плотины намечаются исходя из общей схемы разбивки профиля на блоки бетонирования. Во всяком случае ширина любой зоны должна быть не менее 2 м.

Разрезка плотины на блоки бетонирования. Расположение блоков бетонирования по профилю плотины («разрезка на блоки») делается по одной из следующих схем:

а) **секционная**, или длинными блоками, когда вся секция плотины между конструктивными (температурными) поперечными швами бетонируется одним блоком;

б) **в перевязку**, т. е. с перекрытием вертикальных швов между блоками данного ряда блоками следующего, вышележащего ряда на высоты блока;

в) **столбчатая**, когда блоки укладываются в «столбы» с образованием непрерывных продольных вертикальных швов, впоследствии цементируемых или бетонируемых;

г) **смешанная**.

Способ длинных блоков (секционный) требует малой высоты блоков (0,7-1,5 м) для создания благоприятного их термического режима, чтобы перепад внутренней и внешней температур бетона в строительный и эксплуатационный периоды был бы не более 17-20 °С. При несоблюдении этого требования в блоках могут появиться трещины. Способ длинных блоков с успехом применялся на строительстве Токтогульской плотины.

Способ в перевязку (днепровский) применяется в плотинах высотой до 50 м; длина блоков в плане 9-12 м, а в суровых климатических условиях до 16 м.

3.4 Земляные плотины

Земляные плотины можно возводить почти при любых геологических условиях местности. Они просты по конструкции, устойчивы, долговечны, и стоимость возведения их небольшая. Земляные плотины строятся из местного материала – грунта, который не требует предварительной обработки и разработка которого в карьерах не вызывает больших затруднений. При строительстве земляных плотин можно применять различные землеройные машины и механизмы. Земляные плотины можно возводить большой высоты.

Для возведения земляных плотин можно применять все виды нескальных грунтов. Исключением являются грунты, содержащие примеси неразложившихся органических включений, использование которых допускается при надлежащем обосновании. Применение в земляных плотинах илистых грунтов и плотных трудноразрабатываемых глин допускается при наличии технико-экономического обоснования.

Для низовых частей профиля земляных плотин всех типов допускается применять песчаные, гравийные и галечниковые грунты.

При проектировании тип земляной плотины принимается в зависимости от наличия на месте строительства грунта для возведения плотины и рода грунта в ее основании. При наличии в основании иловатых и переувлажненных глинистых грунтов предусматривается дренирование основания. Торф допускается оставлять в основании при степени его разложения не менее 50 %, давая надлежащее обоснование. Грунты, содержащие неразложившиеся растения и корни, а также ходы землеройных животных, как правило, удаляются из основания или прорезаются зубом. Грунты, содержащие водорастворимые соли (более 5% по массе), удаляются из основания или принимаются специальные меры для предотвращения их выщелачивания или снижения их количества до практически безопасных пределов. Наличие в основании галечниковых, гравелистых и крупнопесчаных грунтов требует устройства понура перед плотиной или пересечения этих грунтов зубом или инъекционной завесой.

По высоте различают земляные плотины: высокие – с максимальным напором более 40 м; средние – с напором 10 – 40 м; низкие – с напором 10 м.

Однородные земляные плотины строятся при наличии на месте строительства в достаточном объеме относительно водонепроницаемых грунтов: суглинков, лессов, а также тяжелых глин, насыщенных водой до нижнего предела пластичности, т. е. из всех относительно водонепроницаемых грунтов. Земляные плотины из легких и средних суглинков возводятся без защитного слоя. При возведении плотин из тяжелых суглинков и глин с содержанием глинистых частиц 20 % и более в районах с суровыми зимами целесообразно устраивать защитный слой из гравийно-песчаного или песчаного грунта по откосам и гребню плотины. Толщина защитного слоя должна быть не меньше глубины промерзания грунта. Для однородных земляных плотин допускается использовать песчаные грунты при значении фильтрационного расхода воды, допустимом по водохозяйственным расчетам. Можно также использовать суглинистые и супесчаные грунты с содержанием водорастворимых солей до 5 % включительно по массе. При надлежащем обосновании допускается использовать грунты с содержанием водорастворимых солей более 5 % по массе.

В однородных земляных плотинах рекомендуется устраивать дренажи со стороны низового откоса.

Земляные плотины с пластичным экраном устраиваются в том случае, если тело плотины возводится из водопроницаемых грунтов (песков, супесей). Экран уменьшает фильтрацию воды через тело плотины. Его можно устраивать из суглинка, смеси глины (не больше 40 %) и песка, глинобетона (смесь: глины – 24, песка – 36, гравия – 40 % по объему) и торфа.

Торфяные экраны бывают сплошные и слоистые. Слоистые торфяные экраны состоят из 2 – 3 слоев торфа, между которыми укладывается слой песка. Толщина каждого отдельного слоя должна быть не менее 0,5 м. Для экранов нужно брать хорошо разложившийся торф, не замороженный и не высохший до воздушно-сухого состояния, со степенью разложения не менее 50 %. Торфяные

экраны допускается применять только для низких и средних по высоте плотин.

Для защиты от промерзания с верховой стороны экран покрывается защитным слоем из гравийно-песчаного грунта, песка, супеси, гравия или щебня. Толщина защитного слоя не менее 1-1,5 м у основания плотины и не менее глубины промерзания выше максимального уровня воды в водохранилище. Толщина пластичного экрана не менее 0,8 м вверху и не менее $0,1 > Z$ (напора) внизу.

Земляные плотины с жестким экраном возводят при отсутствии соответствующих грунтов для пластичного экрана. Жесткие экраны бывают бетонные или железобетонные. Такие экраны имеют сложную конструкцию и стоимость их по сравнению с пластичными большая. Кроме того, при осадке тела плотины в жестких экранах могут появляться трещины. Поэтому они применяются редко.

Земляные плотины с ядром как и плотины с экраном, возводятся из водопроницаемых грунтов. Ядро уменьшает фильтрацию воды через тело плотины и устраивается из таких же материалов, как и пластичный экран.

Земляные плотины с диафрагмой как и плотины с жестким экраном, возводятся при отсутствии соответствующих грунтов для ядра. Диафрагмы выполняются из бетона, железобетона, металла и битумных материалов. Толщина диафрагмы из бетона и железобетона должна быть не менее 0,3 м вверху. Диафрагмы плотин недоступны для осмотра. В них, как и в жестких экранах, из-за разности гидростатического давления на гранях могут появляться трещины, поэтому их устраивают редко.

Для обеспечения местной прочности грунта на откосе устраивают крепление. На верховом откосе крепление выполняется для защиты грунта от воздействия волн и льда со стороны водохранилища. На низовом откосе – для защиты грунта от воздействия атмосферных осадков и воды в нижнем бьефе.

Конструкция гребня плотины осуществляется из его назначения, чаще всего определяется транспортными требованиями (автодорожного или железнодорожного).

Крепление откосов. Верховые (напорные) откосы. Для защиты откосов от волнового воздействия применяют защитные покрытия или же уполаживают его. В качестве временной меры для гашения волн в низконапорных плотинах при малой волне иногда используют плавучие плотики перед откосом.

Обычно верхней границей крепления откоса является гребень, но в случае, когда превышение гребня значительно выше высоты наката волны, то верхней границей основного крепления является граница наката волны h_n , а выше до гребня располагают облегченное крепление.

Каменное крепление в виде наброски или мощения устраивается обязательно по слою подготовки в виде обратного фильтра. Толщина обратного фильтра требуется не менее 15 см (каждого слоя) и иногда достигает общей толщины 60 см, как это устроено, например, на Каховском водохранилище.

В наброске рекомендуется применять несортированный камень, при этом максимальный размер камня в наброске не ограничивается, но количество камней расчетного и большого размеров не должно быть менее 50 % от общего количества камней. Получающаяся в результате учета волнового воздействия толщина наброски камня должна быть достаточной и для защиты от размыва фильтра и тела плотины

Тема 4 Водосбросные и водоспускные сооружения гидроузлов

План

- 4.1 Назначение водопропускных сооружений и их классификация
- 4.2 Открытые водосбросы
- 4.3 Водосбросы с заглубленным трактом
- 4.4 Закрытые водовыпускные сооружения
- 4.5 Открытые водоспуски. Флютбеты
- 4.6 Сопрягающие сооружения

4.1 Назначение водопропускных сооружений и их классификация

Сооружения, которые необходимы для сброса избыточных паводковых расходов, называются *водосбросными* или *водосбросами*.

Для полного или частичного опорожнения водохранилища в связи с ремонтом или осмотром сооружений, расположенных в верхнем бьефе, для смыва наносов, отложившихся в водохранилище, а также для обновления воды в рыбоводных прудах, применяют водовыпуски (донные выпуски). В отдельных случаях некоторые типы водопропускных сооружений могут быть водосбросными, водозаборными и водоспускными.

За расчетный расход водосбросных сооружений гидроузла берется расход, который определен с учетом класса сооружения, аккумулирующей способности водохранилища и устанавливается гидрологическими расчетами. Количество и размеры отверстий водосбросных сооружений определяются из условий пропускания максимального расхода при полном открытии всех водосбросных и водоспускных отверстий. Автоматические водосбросы имеют некоторые преимущества перед регулируемыми; при эксплуатации они не требуют наблюдения за изменением уровня воды верхнего бьефа и регулировкой значения сбросного расхода. Гребень водосливного порога располагается на отметке нормального подпорного уровня, и перелив воды проходит автоматически при превышении уровня воды в водохранилище отметки водосливного порога. Количество и размеры отверстий водосбросных сооружений определяются из условий пропускания максимального расхода при полном открытии всех водосбросных и водоспускных отверстий. При этом необходимо учитывать возможность форсирования уровня верхнего бьефа над нормальным подпорным уровнем.

Классификация водопропускных сооружений проводится по следующим признакам:

а) *по расположению входных отверстий*

- Поверхностные;
- глубинные.

Если входные отверстия сооружений располагаются близко к основанию, то их часто называют донными;

б) по расположению относительно русла реки

- русловые;
- береговые;
- пойменные;

в) по конструктивным особенностям поперечного сечения

- открытые (с незамкнутым сечением);
- закрытые (с замкнутым поперечным сечением);
- комбинированные, имеющие транзитную часть, частично открытую и частично закрытую;

г) по условиям движения потока в пределах сооружения

- напорные;
- безнапорные;
- со смешанным гидравлическим режимом, когда на длине сооружения режим потока изменяется;

д) по условиям управления

- регулируемые (с затворами);
- нерегулируемые (автоматические).

Тип и конструкция водосбросных сооружений выбирается на основе:

- технико-экономического сравнения вариантов с учетом;
- топографических и инженерно-геологических условий в створе гидроузла;
- хозяйственных показателей объекта;
- типа плотины и расчетного напора;
- условий пропуска строительных расходов;
- экономических соображений.

4.2 Открытые водосбросы

Береговые водосбросные каналы и водосбросы с лобовым подводом воды

Открытые береговые водосбросы располагаются на берегах и склонах речной долины в обход плотины. Особенность поверхностных водосбросов заключается в том, что их входные участки расположены на высоких отметках.

Путь движения сбросного расхода, который оборудованный сооружениями, называется *водосбросным трактом*. Ось тракта сооружений, что проложена на местности с разбитым на ней пикетажем, называется трассой водосбросного тракта. Выбор трассы водосбросного тракта проводится на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом особенностей рельефа и геологического строения берегов. Трасса может быть как прямолинейной, так и с криволинейными вставками и проходит на некотором расстоянии от плотины или частично врезаюсь в нее.

В случае, когда трасса имеет поворот, то для обеспечения плавного движения потока на водосбросном тракте, должны быть выдержаны допустимые радиусы поворота осей соответствующих сооружений. Как правило, на криволинейных участках трассы рекомендуется располагать каналы, а другие сооружения - на прямолинейных.

При этом необходимо, чтобы минимальный радиус закругления оси канала

$$R_{min} \geq 5b_k, \quad (4.1)$$

где b_k – ширина канала низом.

Вода из водосбросного тракта поступает в нижний бьеф гидроузла, а при соответствующих топографических условиях может быть выпущена и в соседней водоток или снижены участки местности.

Пропускания льда через водосбросный тракт не предвидится, и поэтому, чтобы не допустить ее выхода на водосбросные сооружения, перед ними устраиваются ледозадерживающие устройства.

Береговые водосбросные каналы. При строительстве невысоких плотин из грунтовых материалов (3 – 5 м) на суходольных балках для водосброса можно использовать естественную седловину. Если отметка поверхности

седловины совпадает с отметкой нормально подпорного уровня в водохранилище, то паводковые расходы будут сбрасываться в обход плотины через седловину в смежную балку ниже плотины. Природный дерновой, покров при широкой седловине, будет хорошо защищать ее поверхность от размыва сбросовыми расходами. В других случаях на трассе водосброса создается точный канал соответствующей ширины, дно которого располагается на отметке НПУ. Откосы и дно такого канала закрепляются местными материалами (камнем, хворостом, фашинами т.п.).

Водосброс с лобовым подводом воды (фронтальный). Для средних и крупных водохранилищ водосбросных тракт располагается чаще всего у непосредственного примыкания одного из плеч плотины к берегу. Для такого водосброса наиболее подходят пологие берега и широкие террасы. Водосброс состоит из пяти частей: подводного канала, регулирующего сооружения, соединительного канала, спрягающего сооружения, отводящего канала.

Подводящий канал имеет значительное поперечное сечение, что дает возможность пропускать расходы даже при незначительных скоростях движения потока. Канал проектируется, в большинстве случаев, трапецевидного поперечного сечения, а в плане имеет расширение вверх против течения. Берега очерчиваются кривыми линиями, но при подходе к водосливного порога регулирующей сооружения необходимо предусматривать прямолинейную вставку, улучшает условия поступления воды на порог водослива. Проектируется канал с горизонтальным дном или с обратным уклоном. Для увеличения пропускной способности необходимо, чтобы в канале отсутствовали водоворотные зоны и на входном пороге регулирующего сооружения не возникало значительного сжатия потока, а по ширине водослива удельный расход распределялась равномерно.

При малых скоростях движения потока в канале можно обойтись без крепления дна и откосов, но на участке, который примыкает к водосливного порога, где скорость движения потока возрастает, крепления предусматривать необходимо. Гидравлический расчет сводится к определению параметров

канала при установленной его глубине.

В случае проектирования водосливного порога без затворов, отметка порога водослива устанавливается на отметке НПУ и сброс паводковых расходов производится автоматически при превышении этой отметки. Гидравлические расчеты проводятся как и для регулятора с затворами. В конструкции автоматического регулятора отсутствуют затворы и служебные мосты.

Соединительный канал рассчитывается на пропуск расходы при средней скорости потока, равной максимально допустимой для грунтов ложа канала. Определение гидравлических элементов канала производится с зависимостями для равномерного движения потока. На участках, примыкающих к регулирующей или спрягающие сооружений, канал необходимо закрепить. Если скорость движения воды в канале будет превышать максимально допустимую, то крепление необходимо устраивать по всей его длине.

При соответствующих топографических условиях соединительный канал может отсутствовать и в таком случае вода за регулятором будет поступать непосредственно на сопрягающее сооружение (рис. 4.2).

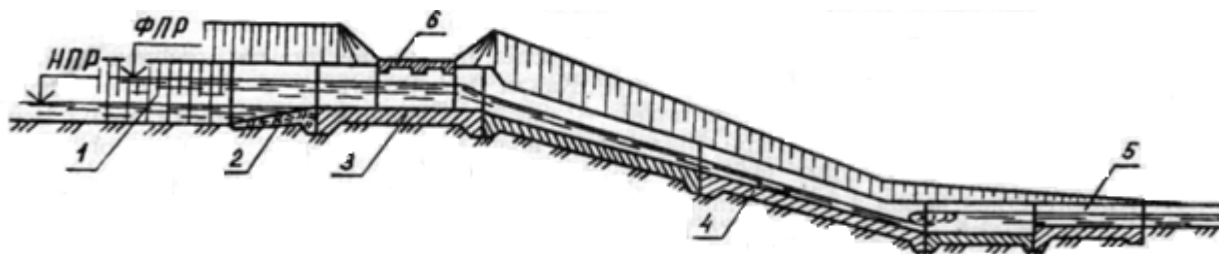


Рисунок 4.2 – Водосбросной тракт автоматического берегового водосброса

- 1 – подводящий канал, 2 – понур, 3 – водосливных порог,
4 – спрягающие сооружение, 5 – отводящий канал, 6 – проезжий мост

Спрягающие сооружения. Тип спрягающего сооружения (быстротоки, многоступенчатый перепад, консольный перепад) на водосбросном тракте выбирается с учетом условий его применения (уклон местности, минимальные объемы работ, как при строительстве, так и при подготовке котлована).

Отводящий канал прокладывается от спрягающего сооружения до самой низкой отметки русла водотока. Отсутствие такого канала может привести к подмыву конечной части спрягающего сооружения (быстротоков или перепада). Если спрягающим сооружением на водосбросном тракте будет консольный перепад, то отводящий канал на водосбросном тракте может отсутствовать.

Подводящий канал имеет расширение вверх против течения и на подходе к водосливу, где начинают расти скорости движения потока, закрепленный каменным накидом. Водосливная часть для увеличения длины водосливного фронта выполнена в плане криволинейной с радиусом $R=193,5$ м. Гребень водослива расположен на отметке НПУ и сброс паводковых расходов производится автоматически. Транзитная часть водосброса – быстротоки переменной ширины. Для уменьшения скорости движения воды в начале быстротоков устроено искусственную шероховатость в виде поперечных выступов на дне лотка. Уменьшение ширины лотка по длине приводит к созданию на нем постоянной глубины. Конечная часть быстротоков выполнена с расширением для уменьшения удельных затрат по лотку консоли, что вместе с расщепителями в конце консоли способствует уменьшению глубины ямы размыва за сооружением.

4.3 Водосбросы с заглубленным трактом

Шахтные водосбросы

Шахтные водосбросы устраиваются в одном из берегов водохранилища вне плотины (обычно в узких горных долинах при крутых и скальных склонах берегов) для пропуска больших расходов и при больших напорах и состоят из водосливной воронки (кольцевого водослива), вертикальной шахты и отводящего туннеля (рис. 4.4).

Туннель шахтных водосбросов можно использовать для пропуска строительных расходов при возведении узла сооружений. После окончания строительства верхняя начальная часть туннеля закрывается бетонной

пробкой, а нижний конец шахты сопрягается с туннелем.

Водосливная воронка имеет кольцевую форму. Если верх водосливной воронки находится на уровне нормального подпорного уровня воды, то это водосброс автоматического действия и сброс паводкового расхода происходит при повышенном уровне.

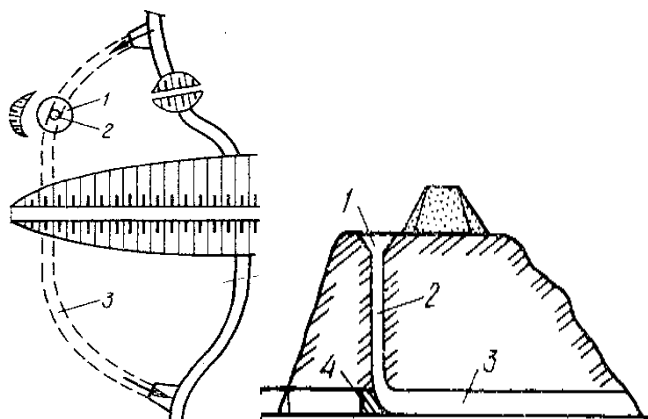


Рисунок 4.4 – Шахтный водосброс: с коническим участком

1 — водосливная воронка; 2 — вертикальная шахта;
3 — отводящий туннель; 4 — бетонная пробка

Водосливная воронка (рис. 4.5) может быть с коническим участком и без него.

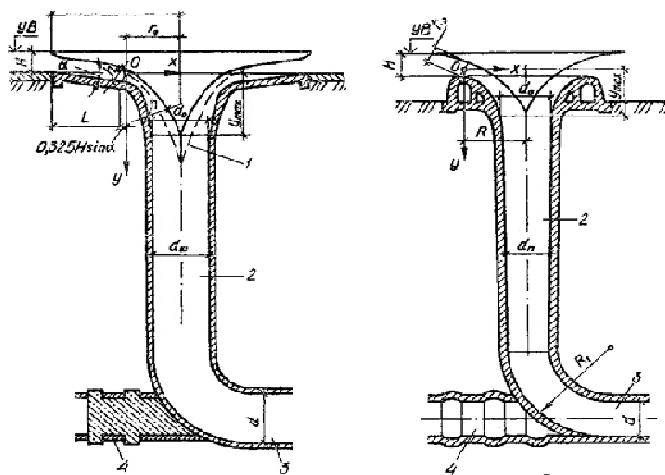


Рисунок 4.5 – Водосливные воронки шахтного водосброса

Диаметр отводящего туннеля d определяется из условия пропуска расчетного строительного паводочного расхода и проверяется на пропуск максимального паводочного расхода в период эксплуатации, когда туннель работает как часть шахтного водосброса.

В шахтных водосбросах, имеющих постоянный диаметр шахты, в

большинстве случаев возникает вакуум. Для борьбы с вакуумом в область его по трубам подводится воздух

Трубчато-ковшовые водосбросы

Трубчато-ковшовые водосбросы состоят из входной части, напорных труб и устройств для гашения энергии потока в нижнем бьефе в виде водобойных колодцев или водобойных стенок.

Входная часть водосброса представляет собой неподтопленный водослив практического профиля большой ширины с подходом воды с торца и с боков .

В водосбросах автоматического действия перед входом в трубы устраиваются пазы для шандор, которыми перекрываются отверстия труб при ремонте, а также на зимний период, чтобы избежать промерзания грунта вокруг труб. Выходные отверстия труб на зимний период закрываются утепляющими щитами.

Для уменьшения ширины водослива торцевой части его придают зигзагообразную форму, принимая угол между линиями зигзагов 90° . Напор на пороге водослива при водосбросах автоматического действия 1 – 1,5 м.

За водосливным порогом устраивается ковш, в нижнем конце которого размещены входные отверстия труб, которые плавно сужаются с заглублением верхней входной кромки под уровень воды в ковше на глубину в 1,5–2 раза больше скоростного напора при входе в трубу.

Для водосброса обычно применяются железобетонные или асбестоцементные трубы. Они укладываются на подготовку из тощего бетона толщиной 0,2–0,4 м. Стыки труб перекрываются в зависимости от материала, из которого они сделаны: железобетонными или асбестоцементными муфтами с укладкой между трубой и муфтой резиновых колец. В местах стыков труб в подготовке из тощего бетона устраиваются швы с заполнением их просмоленным войлоком или двумя-тремя слоями рубероида. Для предупреждения возникновения сосредоточенной фильтрации вокруг труб укладывается глина или глинобетон (рис. 4.7). Во избежание промерзания глина или глинобетон не укладываются на расстоянии от конца труб, большем

глубины промерзания для данного района. Для удобства производства работ и возможности уплотнения глины или глинобетона трубы укладываются с промежутком 0,5 – 0,8 м.

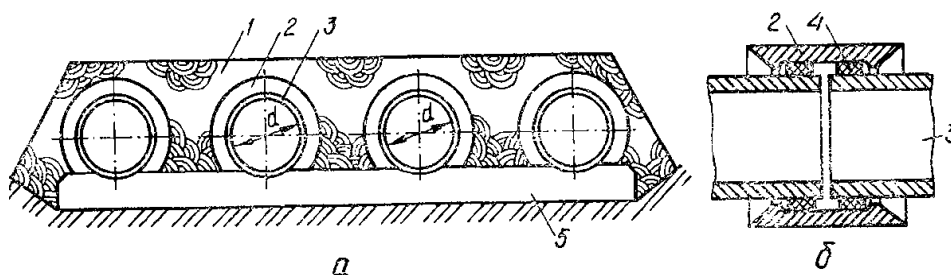


Рисунок 4.7 – Трубы трубчато-ковшовый водосброс

a — поперечное сечение; *б* — соединение труб; *1* — глина или глинобетон;
2 — муфта; *3* — труба; *4* — резиновые кольца; *5* — тощий бетон

Сифонные водосбросы

Обычно сифоны устраиваются железобетонные, прямоугольного сечения, реже – металлические круглого сечения, имеющие вид изогнутой трубы.

Гребень сифона располагается на отметке нормального подпорного уровня воды, верхняя входная кромка сифона (козырек) опущена ниже уровня воды на 0,7 – 1 м. Входная часть сифона должна быть уширенной. В козырьке на уровне гребня делаются воздушные отверстия, площадь которых составляет 2 – 10 % площади поперечного сечения сифона в верхней части. Чтобы в сифон не попадали плавающие тела, входное отверстие перекрывается грубой решеткой. Когда уровень воды поднимается выше гребня сифона, вода начинает проходить по сифону и заполняет водобойный колодец в конце его. Для пропуска больших расходов ставятся несколько сифонов сравнительно небольшого размера (батарея сифонов), у которых отметки гребней отличаются одна от другой на 5 – 10 см, в связи, с чем сифоны включаются в работу последовательно.

Гидравлический расчет сифонного водосброса производится в следующем порядке. При заданном расходе выбирается тип сифона, определяются поперечные размеры его трубы, скорость и вакуум в сифоне. Потери напора учитываются на участке от рассматриваемого сечения до выходного.

Башенные водосбросы

Башенные водосбросы строятся как в берегах, так и в теле плотины. Башенный водосброс состоит из круглой или прямоугольной башни и горизонтальной трубы круглого или прямоугольного поперечного сечения.

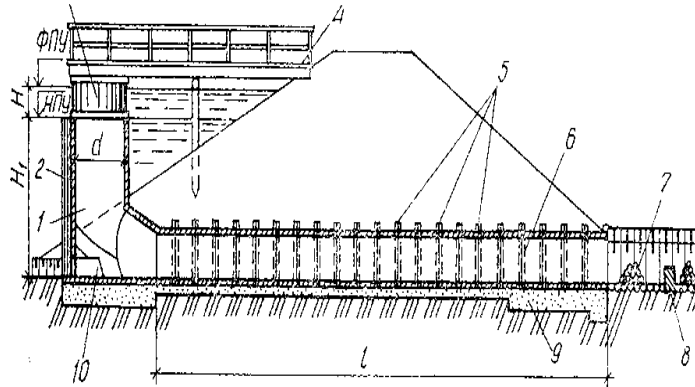


Рисунок 4.8 – Башенный водосброс

1 – башня; 2 – пазы для щитов; 3 – металлическая решетка;
4 – служебный мостик; 5 – муфты; 6 – отводящая труба; 7 – отводящий канал;
8 – водобойная стенка; 9 – бетонное основание; 10 – донное отверстие

Вертикальная башня может быть

- каменной;
- бетонной;
- железобетонной.

Отводящая труба устраивается из железобетонных труб, уложенных на бетонном основании. Верх башни должен быть на отметке нормального подпорного уровня (НПУ) воды. При повышении уровня вода переливается через стенки башни и отводится по отводящей трубе в нижний бьеф.

В конце отводящей трубы устраивается сооружение для гашения энергии потока (водобойный колодец, водобойная стенка и т. д.), за которым расположен отводящий канал. Вверху по периметру башни устанавливается металлическая решетка, возвышающаяся над максимальным подпорным уровнем (ФПУ) воды. Наличие решетки предупреждает попадание в башню различных плавающих предметов.

Для выпуска воды из водохранилища в нижней части башни делают отверстие, которое в обычных условиях перекрывается деревянными щитками.

Кроме основных щитков делают еще паз для ремонтных щитков на случай, если основные щитки необходимо осмотреть или отремонтировать. Осмотр и ремонт башни ведется со служебного мостика. Отверстие в нижней части башни перекрывается металлической решеткой, чтобы при выпуске воды из водохранилища не выходила рыба.

Трубчатые водоспуски

Устраиваются они из отдельных сварных или чугунных раструбных и железобетонных труб. Трубы водоспуска работают как напорные. Входная часть трубы водоспуска делается уширенной и перекрывается металлической решеткой. Во входной или в выходной части устанавливается задвижка. Выходная часть водоспуска заканчивается в отводящем канале, где строится водобойный колодец или другие устройства для гашения энергии воды, выходящей из труб.

В зависимости от пропускаемого расхода могут быть уложены одна или несколько труб. Если укладывается несколько труб, расстояние между ними принимается не меньше диаметра трубы.

Трубы водоспуска располагаются непосредственно в основании плотины. Чтобы обеспечить прочность труб при осадке плотины и избежать фильтрации вдоль труб, устанавливаются железобетонные диафрагмы в местах стыков отдельных звеньев труб. Кроме того, вокруг труб укладывается слой глины или глинобетона.

Для устранения влияния осадки земляной плотины на трубы, улучшения условий эксплуатации и надзора трубы водоспуска можно располагать в бетонной или железобетонной штольне.

4.5 Открытые водоспуски

Открытые водоспуски устраиваются как в теле плотины, так в берегах при плотинах небольшой высоты (до 6 м) и небольшом паводковых расходах.

Днище водоспуска – флютбет, устраивается ниже нормального подпорного уровня воды на 2 – 4 м, необходимый подпорный уровень воды поддерживается затворами. Благодаря такому расположению флютбета и наличию затворов водоспуски одновременно служат для сброса паводковых расходов для выпуска воды из водохранилища полностью

Открытые водоспуски бывают деревянные, каменные, бетонные и железобетонные. Из дерева водоспуски устраиваются лишь в отдельных случаях, так как дерево, находясь под переменным действием воды, быстро загнивает, что приводит к частым ремонтам деревянных водоспусков или полной их замене.

Составными частями открытого водоспуска являются берегонь устои, промежуточные опоры-быки и днище-флютбет.

Флютбет

Совокупность частей водосливной плотины или другого напорного гидротехнического сооружения, по верху которых протекает открытый водный поток (рис. 4.9). В комплекс флютбета входят: понур, тело плотины, водобой и рисберма (или слив).

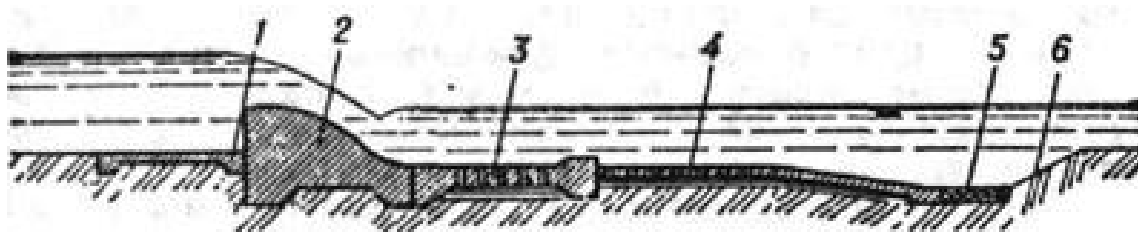


Рисунок 4.9 – Флютбет

1 – понур; 2 – водосливной порог (тело плотины); 3 – водобой;

4 – рисберма; 5 – ковш

Флютбет сооружения служит для двух целей: 1) безопасного пропуска поверхностного потока из верхнего бьефа в нижний, 2) гашения напора фильтрационного потока.

Понур укрепляет русло потока перед сооружением от размыва поверхностным потоком и служит связующим звеном между естественным ложем реки или канала и собственно сооружением. Его устраивают из

водонепроницаемого материала: глины, глинобетона, бетона, железобетона, полимерных материалов и др.

Вследствие водонепроницаемости понур удлиняет путь фильтрационному потоку под сооружением, является средством гашения напора, снижает действие его на водобойную часть флютбета, за счет чего уменьшает расход и скорости фильтрации.

Водобой представляет собою собственно сооружение. Он предназначен воспринимать удары падающей воды при переливах через водосливы и создавать безопасные условия протекания ее при увеличенной скорости в зоне прыжкового сопряжения.

Водобой, как водонепроницаемая часть, также служит средством гашения напора фильтрационного потока. Вследствие того, что давление снизу всегда больше давления сверху, толщину водобоя рассчитывают из условия устойчивости его против всплытия воздействия подъемного потока. Длину водобоя назначают по гидравлическому расчету и по условиям размещения затворов, подъемников, служебного и проезжего мостов, а при необходимости ее увеличивают как противофильтрационное средство для подземного потока.

Сливная часть (слив), или рисберма, предназначена для выполнения следующих четырех задач:

- 1) укреплять русло потока за водобоем от размыва;
- 2) создавать свободный выход подземному потоку, то есть она должна быть водопроницаемой;
- 3) тормозить донные скорости и тем самым приближать распределение скоростей по живому сечению к бытовому в конце рисбермы;
- 4) защищать лежащий под ней грунт от размыва подземным потоком и повышать устойчивость его против выпирания.

Для лучшего выполнения этих задач рисберму при необходимости усиливают в нижней части обратными фильтрами, а поверхность устраивают по возможности более шероховатой.

Конструкцию сливной части принимают из условия устойчивости ее против размыва поверхностным и фильтрационным потоком. Длина слива должна быть достаточной для гашения скорости до безопасных величин на размыв в отводящем русле. В случае большой разницы в ширине отверстия сооружений и отводящего русла при определении длины слива (рисбермы) следует руководствоваться гидравлическим расчетом растекания потока. Концевой участок устраивается в речных сооружениях и предназначается для недопущения подмыва рисбермы. Для увеличения длины фильтрационного пути с целью уменьшения уклона подземного потока устраивают зубья и шпунтовые стенки в пределах понурной и водобойной части, о которых будет сказано ниже. Тип крепления рисбермы выбирается в зависимости от наличия местных материалов и скорости течения воды. Крепление может быть выполнено в виде каменной наброски, каменной мостовой (при средних скоростях течения от 2 до 3,5 м/с), бетонных плит одинаковой и разной толщины (при средних скоростях течения от до 5 м/с) и т. д.

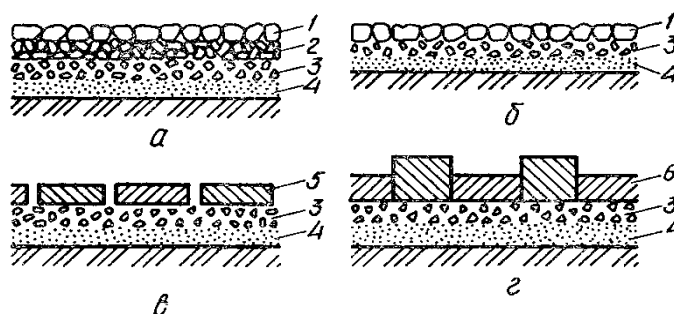


Рисунок 4.10 – Типы крепления рисбермы

- а – каменной наброской; б – каменной мостовой; в – бетонными плитами одинаковой толщины; г – бетонными плитами разной толщины;
 1 – каменная наброска; 2 – камень средней крупности; 3 – гравий;
 4 – песок; 5 – бетонные плиты; 6 – бетонные плиты разной толщины

4.6 Спрягающие сооружения

Быстротоки представляют собой сопрягающие сооружения в местах сосредоточенного падения местности, в которых вода проходит с большими скоростями.

Быстротоки бывают деревянные, каменные, бетонные, железобетонные и из других материалов. По расположению в плане различают прямолинейные и криволинейные быстротоки, по виду поперечного сечения — прямоугольные и трапециевидальные с коэффициентом откоса не менее $m = 1$. В зависимости от длины различают быстротоки длинные и короткие. В длинных быстротоках глубина воды в конце весьма близка к нормальной глубине в лотке. В коротких быстротоках глубина воды в конце больше нормальной.

Быстроток (рис. 4.11) состоит из подводящего канала, входной части (порога), лотка, успокоителя, отводящего канала. Сопряжение соединительного канала с порогом и успокоителя с отводящим каналом осуществляется в виде раструба.

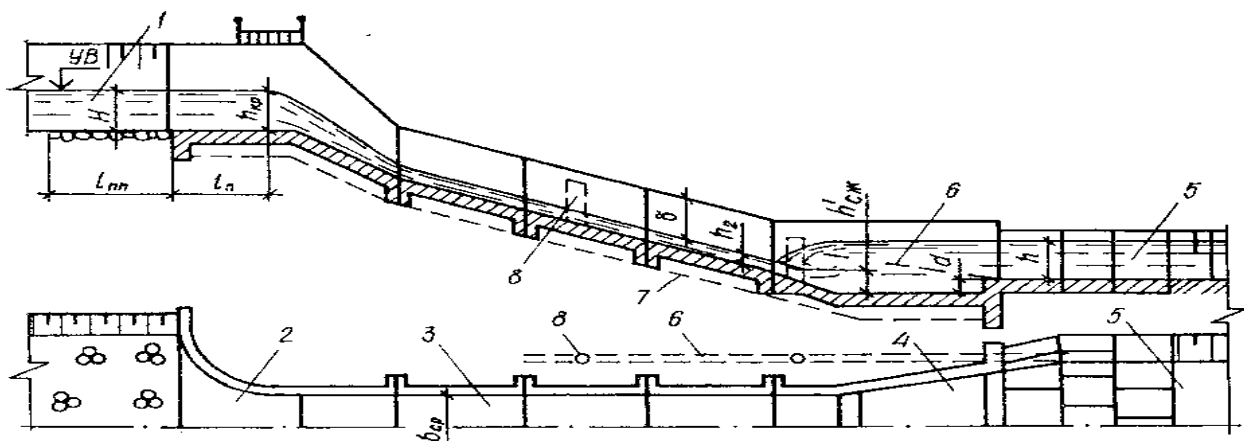


Рисунок 4.11 – Быстроток с застенным дренажем

- 1 – подводящий канал; 2 – входная часть – порог; 3 – лоток;
4 – успокоитель; 5 отводящий канал; 6 – дренаж; 7 – подошва стен;
8 – смотровой колодец

Быстротоки с искусственной шероховатостью

Искусственная шероховатость позволяет уменьшить скорости течения, длину быстротоков, улучшить условия сопряжения струи с нижним бьефом и дает возможность перевести бурное движение потока в быстротоках в спокойное.

Искусственная шероховатость может иметь вид: двойного зигзага (рис. 4.12, а), одинарного зигзага (рис. 4.12, б), нормальных и округленных брусков (рис. 4.12, в), ступеней по течению (рис. 4.12, г), бортовой

шероховатости в виде нормальных брусков (рис. 4.12, д), комбинированной шероховатости (рис. 4.12, е).

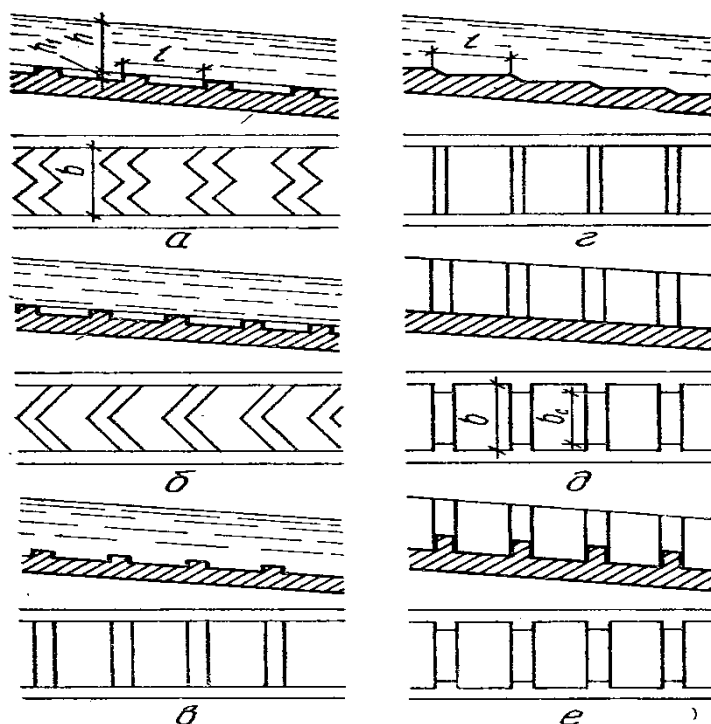


Рисунок. 4.12 – Виды искусственной шероховатости

Перепады

Как и быстротоки, перепады устраиваются для сброса воды в местах сосредоточенного падения местности. Они бывают деревянные, каменные, бетонные, железобетонные и из местных материалов. Рациональность применения быстротока или перепада устанавливается на основании экономического сравнения вариантов.

Наиболее распространены **многоступенчатые перепады** (рис. 4.13). Как и быстротоки, в начальной части они имеют соединительный канал и входную часть, а в конечной части – выходную часть и отводящий канал. При автоматическом сбросе воды входной порог перепада устраивается на уровне дна соединительного канала. Размеры входной части можно принимать такими же, как и для быстротока.

Поперечное сечение перепадов может быть прямоугольное и трапецеидальное. Вдоль продольных стенок перепадов устраиваются застенные дренажи. Длина ступеней перепадов может быть до 20 м. В конце

каждой ступени для успокоения падающей воды устраивается водосливная стенка, в связи, с чем они имеют вид водобойных колодцев. В водосливных стенках для выпуска воды из водобойных колодцев, когда перепад не работает, делаются отверстия от 10 X 10 до 20 X 20.

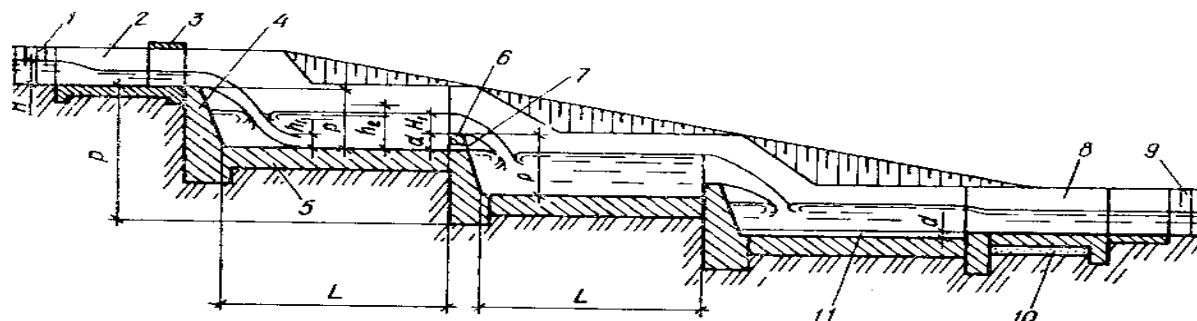


Рисунок 4.13 – Многоступенчатый перепад

- 1 — подводящий канал; 2 — входная часть; 3 — служебный мостик;
4 — стенка падения; 5 — ступень перепада; 6 — водосливная стенка;
7 — отверстия для выпуска воды; 8 — выходная часть; 9 — отводящий канал;
10 — обратный фильтр; 11 — водобойный колодец

Консольные перепады

Консольные перепады представляют собой быстроток, нижняя часть которых опирается на глубоко опущенные опоры, образуя за ними горизонтальную консоль (рис. 4.14). При постоянном или близком к постоянному расходе воды можно устраивать консоль с обратным (отрицательным) уклоном. Обратный уклон создает условия для большего отлета струи от опор.

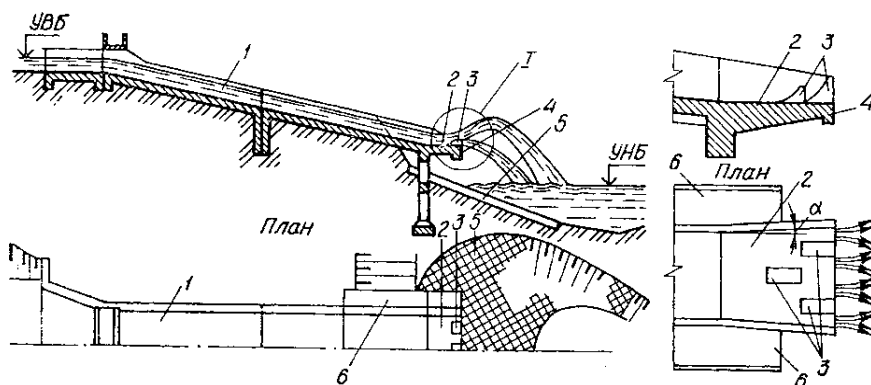


Рисунок 4.14 – Консольный перепад

- 1 — лоток быстроток; 2 — консоль; 3 — трамплины; 4 — слив;
5 — крепление, 6 — служебный мостик.

Вода с консоли сбрасывается непосредственно на грунт. Под действием падающей воды грунт размывается и образуется так называемая воронка размыва. Под консолью и по бокам воронка размыва укрепляется фашинами или габионами, а при небольших консолях — каменной наброской. Для уменьшения глубины и ширины воронки размыва и боковых водоворотов за ней в конце консоли устраиваются зубчатые трамплины, которые расщепляют струю на нижние и верхние струи. Верхние струи, насыщаясь воздухом, имеют меньшую размывающую способность. Чтобы вода не затекала под дно лотка, в конце его устраивается слив. Лоток быстотока в той части, где он опирается на опоры, делается из дерева или железобетона. При легкоразмываемых (илистых и мелкопесчаных) грунтах устраивать консольные перепады не рекомендуется, так как в этом случае образуется воронка размыва большой ширины и глубины.

2 ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ПОД ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

ТЕМА 5 Основные понятия фильтрации

План

- 1.1 Понятие – фильтрация
- 1.2 Виды фильтрации
- 1.3 Противофильтрационные крепления
- 1.4 Методы фильтрационных расчетов
- 1.5 Фильтрационная прочность грунтов

5.1 Понятие – фильтрация

Движение жидкости (газа, газированной жидкости) в пористой среде называется *фильтрацией*. В гидротехнике при рассмотрении фильтрации имеются в виду пористые среды, образованные из грунтов (связных и несвязных), трещиноватых горных пород, бетона и других пористых материалов, а в качестве фильтрующей жидкости рассматривается вода.

Поры грунта, бетона, трещины горных пород, в которых движется жидкость, имеют сложные и разнообразные формы. Это обстоятельство приводит к особому методу изучения движения жидкости в пористой среде. Именно из-за отсутствия закономерности форм пор и трещин рассматриваются осредненные характеристики фильтрационных свойств пористой среды. При рассмотрении фильтрации предполагается, что жидкость движется, сплошь заполняя все пространство – поры и частицы грунта. При этом расход жидкости через любую площадку должен быть равен действительному ее расходу. Таким образом, реальный поток жидкости в порах грунта заменяется *фиктивным фильтрационным потоком* той же жидкости, непрерывно заполняющим объемы пор и скелета грунта. Основываясь на понятии фильтрационного потока, можно заключить, что если действительный расход жидкости через площадку $\Delta\omega$ будет равен ΔQ , то скорость фиктивного фильтрационного потока в пределах данной площадки

При определении скорости фильтрации принято, что фильтрационный поток заполняет все пространство. В действительности же жидкость движется через ту часть площади, которая занята порами

Основной закон фильтрации (закон Дарси)

$$Q = k_f \omega h/L \quad (5.1)$$

$$V = k_f \cdot J \quad (5.2)$$

где J – градиент напора (пьезометрический уклон);

ωh – живое сечение цилиндра;

k_f – коэффициент, характеризующий фильтрационные свойства грунта, называемый коэффициентом фильтрации.

$$J = \omega h / L \quad (5.3)$$

Абсолютно непроницаемых грунтов в природе не имеется. Обычно непроницаемым грунтом называется грунт, проницаемость которого весьма мала по сравнению с проницаемостью другого грунта.

Впоследствии этот закон был распространен и на другие грунты и пористые материалы, например: глинистые и торфяные грунты,

сильнотрещиноватые породы, бетон и т.п. Коэффициент фильтрации играет важную роль в фильтрационных расчетах, поэтому изучению этого параметра посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований. Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Фильтрационные свойства грунтов часто определяют метод фильтрационного расчета. Абсолютно непроницаемых грунтов в природе не имеется. Обычно *непроницаемым* грунтом называется грунт, проницаемость которого весьма мала по сравнению с проницаемостью другого грунта. В инженерной практике один грунт по отношению к другому считается водоупорным при соотношении коэффициентов фильтрации более 20.

Таким образом, непроницаемость грунта имеет относительное значение. Проницаемые грунты подразделяются на грунты *изотропные* и *анизотропные*. В любой точке изотропного грунта коэффициент проницаемости (фильтрации) не зависит от направления фильтрации. Изотропные грунты, в свою очередь, подразделяются на *однородные* и *неоднородные*.

В однородных грунтах коэффициент фильтрации не зависит от координат области фильтрации, являясь постоянным. В анизотропных грунтах коэффициент фильтрации в данной точке *зависит от направления скорости фильтрации*. Примером анизотропных грунтов являются песчаники, лессовые грунты.

Уравнения фильтрации воды

Основное дифференциальное уравнение установившегося фильтрационного потока (уравнение неразрывности):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\Phi} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{\Phi} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (5.4)$$

где h – пьезометрический напор;

x, y – прямоугольные декартовы координаты;

k_{Φ} – коэффициент фильтрации.

Основное дифференциальное уравнение неустановившегося фильтрационного потока:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\Phi} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{\Phi} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.5)$$

5.2 Виды фильтрации воды

Различается два вида фильтрации – безнапорная и напорная.

Безнапорная фильтрация характеризуется наличием свободной депрессионной поверхности, соприкасающейся с атмосферой. Примером безнапорной фильтрации является фильтрация воды в теле грунтовых плотин и в обход сооружений.

Напорная фильтрация характеризуется отсутствием свободной депрессионной поверхности, область фильтрации ограничивается сверху поверхностью сооружения или кровлей водоупорного грунта. Примером напорной фильтрации может служить фильтрация воды над бетонной плотиной.

5.3 Противофильтрационные крепления

Шпунт — важный элемент противофильтрационного контура. В зависимости от напора и грунта основания применяют деревянные шпунты глубиной до 5—7 м и стальные глубиной до 15—20 м, а при сварке или склейке и до 40 м. Железобетонный шпунт имеет толщину 50—60 см.

Верховой шпунт удлиняет пути фильтрации и служит гасителем напора.

Низовой шпунт (длиной 2—4 м) препятствует фильтрационному выпору грунта из-под плотины. Устройство низового шпунта вызывает увеличение противодавления.

Бетонные зубья. Неглубокие зубья устраивают для предотвращения опасной контактной фильтрации и лучшего сопряжения бетона с основанием. Глубокие бетонные зубья устраивают вместо шпунтовых рядов, если грунт не допускает забивку шпунта.

5.4 Методы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений

Цели фильтрационных расчетов

Фильтрационными расчетами гидротехнических сооружений надлежит определять следующие параметры фильтрационного потока:

- а) положение свободной поверхности фильтрационного потока (депрессионной поверхности) в теле плотины и берегах;
- б) фильтрационный расход через тело плотины, основание и берега;
- в) напоры (или градиенты напора) фильтрационного потока в теле плотины, основании, а также в местах выхода фильтрационного потока в дренаж.

При неоднородном или анизотропном геологическом строении основания параметры фильтрационного потока следует определять с учетом этих факторов. Первостепенной целью фильтрационных расчетов является оценка фильтрационной прочности тела и основания сооружения, а также противοфильтрационных устройств. Для этой оценки требуются численные значения градиентов пьезометрического напора, которые также определяются фильтрационными расчетами.

Основными методами фильтрационных расчетов являются:

- а) гидродинамический; б) гидравлические; в) графические.

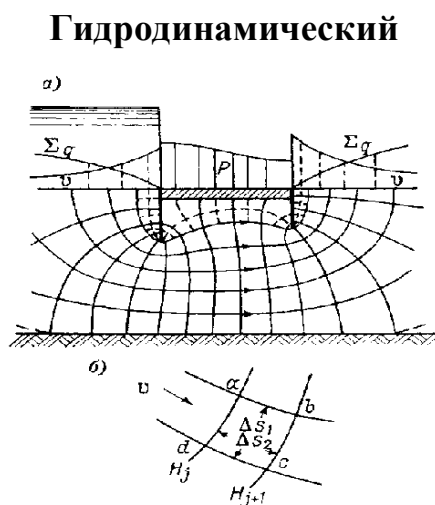


Рисунок 5.1 – Гидродинамическая сетка

Полоса напора – пространство между двумя линиями напора

Лента расхода - пространство между двумя линиями течения

Полный фильтрационный расход под плотиной

$$Q = \kappa_{\phi} H L m/n , \quad (5.6)$$

где m – количество полос напора;

n – количество лент расхода;

H – напор, м;

L — длина подземного контура, м.

Гидравлические (метод коэффициентов сопротивления)

Используется для подземных контуров сложной конфигурации.

1. Составляется расчетная схема подземного контура, состоящая из вертикальных и горизонтальных путей фильтрации.
2. Определяется вертикальная составляющая и горизонтальная проекция.
3. Расчет подземных контуров разбивается на составляющие:
 - А) Входной и выходной.
 - Б) Внутренний.
 - В) горизонтальный.
4. Определяется коэффициент сопротивления внутреннего шпунта.

Графический метод (метод линейно-контурной фильтрации)

Расчет противодавления

Идея метода линейной контурной фильтрации, предложенная Е. Бляем, состоит в следующем.

Для определения полного противодавления на подошву сооружения необходимо иметь значение этого противодавления во всех точках подошвы, т.е. должна быть построена эпюра противодавления, площадь которой и даст искомую величину.

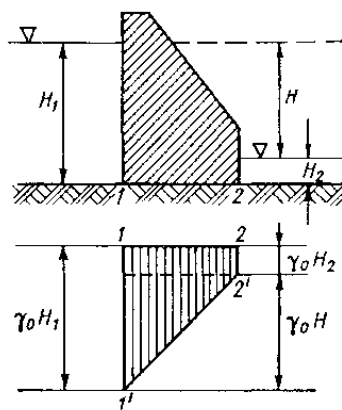


Рисунок 5.2 – Схема к определению взвешивающего и фильтрационного противодействия на водоподпорное сооружение

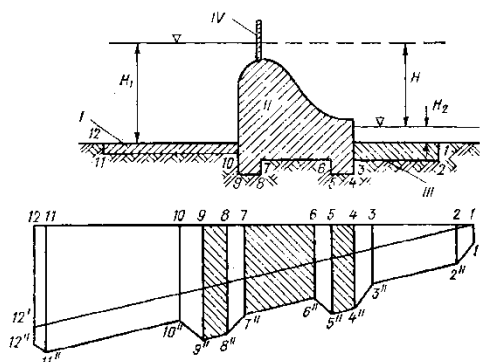


Рисунок 5.3 – Плотина и эпюра противодействия на ее подземный контур
I — понур; II — плотина; III — водобой; IV — затвор.

$$U_{\phi i} = \gamma_0 H \cdot l_i / L, \quad (5.7)$$

где $U_{\phi i}$ — фильтрационное противодействие в i -й точке, т/м;

H — напор, м;

L — длина подземного контура, м;

l_i — расстояние конца пути фильтрации до i -й точки, м;

γ_0 — объемная масса жидкости в т/м³.

5.5 Фильтрационная прочность грунтов

Основания сооружений, через которые фильтрует вода, подвержены воздействию этих сил фильтрации. В грунтах силы подобного гидравлического воздействия могут вызывать фильтрационные деформации.

Механическая суффозия грунтов — процесс выноса мелких частичек

грунта с его поверхности, называемая поверхностной суффозией, или подвижка частичек внутри объема – внутренняя суффозия.

Суффозия на контакте различных по составу грунтов называется контактной суффозией.

Основываясь на том, что перечисленные виды суффозии поддаются расчету, места их возникновения можно определить,

По причинам разрыхления грунта, неравномерных осадок (сооружений, небрежного выполнения строительных работ под сооружением, когда оставляют строительный мусор и др. могут образоваться облегченные ходы фильтрации, места которых заранее определить невозможно.

Суффозионный процесс в этих местах обычно отличается прогрессивным течением и является причиной многих аварий сооружений. Этот вид деформаций грунта назван *случайной суффозией*.

Механическая суффозия (или просто суффозия) характерна для несвязных песчаных, гравелисто-песчаных грунтов, не обладающих силами сцепления.

Установлено, что суффозии подвержены грунты с большим *коэффициентом неоднородности*. В определенных условиях суффозия может прекратиться без какого-либо вмешательства, если мелкие частички забьют (закупорят) поры грунта, встречающегося на пути, и невозможно будет перемещение частичек внутри массы грунта.

В крупных порах откладываются сначала частички, которые по своему размеру не могут пройти через них, затем в этих уменьшенных порах откладываются более мелкие частички и т. д., образуя по потоку воды форму обратного фильтра, в данном случае естественного.

Фильтрационный выпор происходит под воздействием объемных фильтрационных сил, когда часть грунта, отделившаяся от всего массива, увеличивается в объеме за счет увеличения пористости.

Контактный выпор грунтов. Контактный выпор в песчаных грунтах может возникнуть главным образом в местах выхода фильтрационного потока в дренаж.

Контактный выпор в глинистых грунтах. В глинистых грунтах характерным видом фильтрационной деформации является выпор. Суффозия в них не наблюдается даже при весьма больших градиентах фильтрационного потока за счет значительных сил сцепления между частичками, препятствующих отрыву частичек друг от друга.

Контактный размыв — это вид фильтрационных разрушений грунтов под воздействием фильтрационного потока, проходящего вдоль двух смежных грунтов с различной крупностью.

Этот вид деформаций может быть в основании бетонных гидросооружений, дренажах, расположенных под ними, в дренажах земляных плотин, в прослойках из крупнозернистого материала оснований.

Обратные фильтры. Неотъемлемой частью дренажей являются обратные фильтры. Назначение их — защищать грунты основания от фильтрационных деформаций, которые возможны на выходе фильтрационного потока в дренаж, и сохранять водопропускную способность дренажа.

Обратный фильтр устраивается обычно из слоев несвязного грунта различной крупности, уложенных нормально направлению фильтрационных токов и в порядке возрастания крупности частиц по ходу фильтрации. Толщина каждого слоя по производственным условиям 10 до 25 см, но на практике бывает от 20 до 50 см и более. Меньшие размеры назначаются для слоев фильтра из подобранного, более однородного материала, большие — для менее однородной смеси. При отсыпке фильтра в воду толщина его больше и устанавливается специально. Обратный фильтр является весьма ответственной конструкцией, от которой зависит фильтрационная прочность грунта основания, долговечность гидротехнического сооружения, поэтому к нему предъявляются следующие требования: материал должен быть долговечным, водостойким, морозостойким, прочным; частицы одного слоя фильтра не должны проникать в другой слой, за исключением тех, вынос которых допускается; фильтр не должен заиливаться, его пропускная способность должна сохраняться долгие годы; не должно быть перемещения частиц внутри слоя.

Фильтрация воды в скальных основаниях

Особенности скальных оснований. Скальные породы обладают малой влагоемкостью и пористостью.

Фильтрация в скальных породах не следует закону Дарси, так как происходит в основном по трещинам. Размеры трещин могут измеряться долями миллиметров и метрами, образующимися в результате различных тектонических процессов и дислокаций (сбросы, сдвиги, изгибы слоев), выветривания,.

Трещины могут быть заполнены мелкими продуктами разрушения породы и обладать малой водопроницаемостью, но могут быть и открытыми, без заполнения; в районах вечной мерзлоты трещины заполнены льдом или смерзшимся грунтом. Скальные породы пронизаны трещинами на различную глубину в зависимости от их происхождения.

Двигаясь по трещинам с некоторыми скоростями, фильтрационный поток теряет напор. Фильтрационный поток оказывает противодействие на плотину снизу вверх, как бы облегчая ее и уменьшая устойчивость на сдвиг, может вымывать породы, входя во взаимодействие с солями (химическая суффозия), вымывать заполнитель трещин (механическая суффозия). Породы могут изменять свои прочностные качества при намокании.

Определение фильтрационного противодействия. Фильтрация происходит по порам, трещинам и фильтрационное противодействие, передаваемое на сооружение, необходимо считать действующим не по всей площади подошвы, а по площади этих трещин и пор (рис. 5.4).

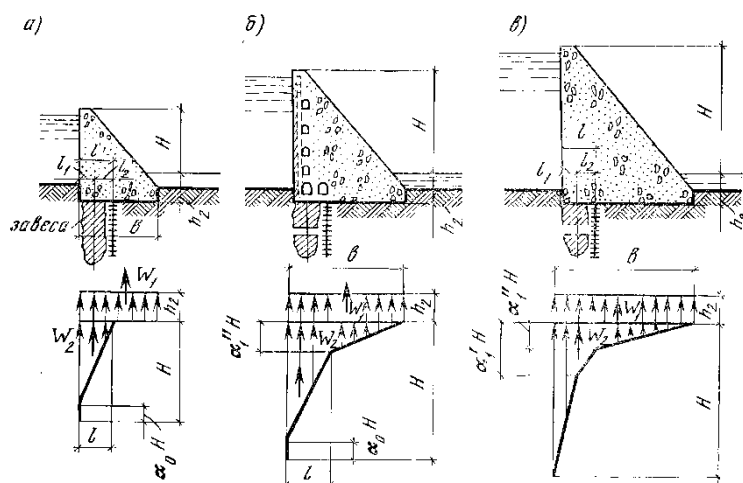


Рисунок. 5.4 – Эпюры противодействия при скальных основаниях

Для снятия фильтрационного противодействия устраивают противофильтрационные завесы, аналогичные шпунтовым завесам, и вертикальный дренаж, располагаемый за завесой и снимающий оставшийся непогашенный завесой напор.

В зависимости от материала, с помощью которого выполняются эти завесы, их называют цементационной (сокращенно цемзавеса), битумной, глинистоцементационной и др. Устраиваются они в верхней части подошвы плотины. Полное противодействие определяется как сумма взвешивающего давления W_1 и фильтрационного W_2 .

Суффозия пород основания. Наиболее существенную роль в скальных основаниях может играть химическая суффозия, проявляющаяся в тех случаях, когда в составе породы имеются легковыщелачиваемые вещества: гипс, ангидрит, каменная соль. Для предотвращения ее используют обычно четыре метода:

- 1) перехват с помощью дренажа под понуром фильтрационного потока до завесы, чтобы не было разрушения основания под плотиной;
- 2) устройство наклонено в сторону нижнего бьефа завесы для отклонения фильтрационного потока от основания;
- 3) создание глубоких завес, пересекающих суффозионные породы и доходящих до нерастворимых пород;

4) создание понуров, удлиняющих путь фильтрации и снижающих тем самым темп выщелачивания: вода, которая подходит под плотину, уже обогащена растворимыми веществами, что понижает растворяющую ее способность.

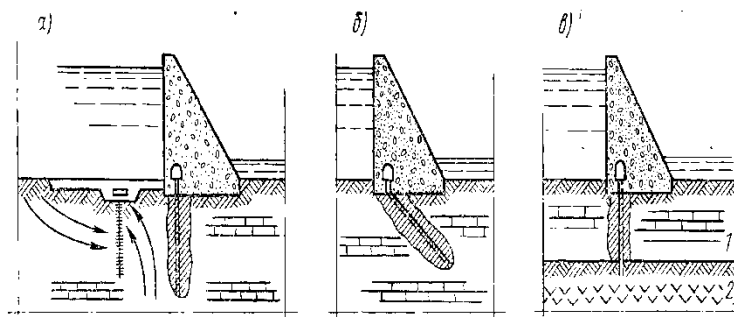


Рисунок 5.5 – Схема мероприятий по борьбе с химической суффозией

а – понур и дренаж перед сооружением, б – наклонные завесы,

в – завесы до нерастворимых пород

3 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

ТЕМА 6 Каналы

План

6.1 Классификация каналов. Гидравлический расчет

6.2 Лотки

6.1 Классификация каналов. Гидравлический расчет

Типы, формы и размеры поперечных сечений каналов

Классификация. По назначению каналы могут быть энергетическими, водопроводными, ирригационными, судоходными, лесосплавными, обводнительными, осушительными, рыбоводными и комплексного назначения (например, для судоходства и водоснабжения) (рис. 6.1).

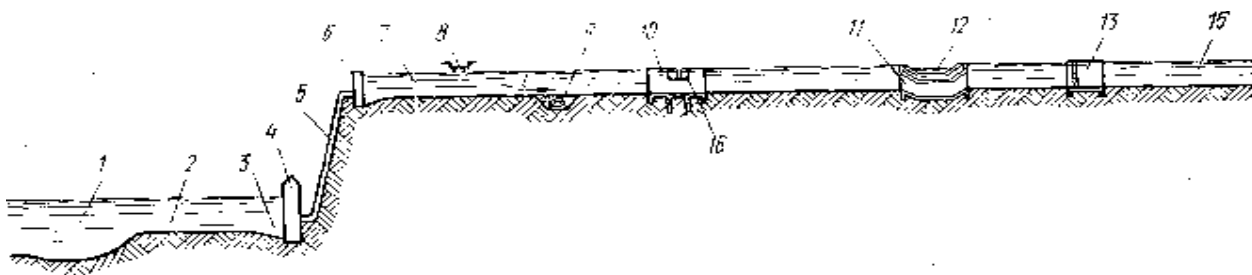


Рисунок. 6.1 – План и продольный профиль участка машинного канала:
 1 – водохранилище; 2 – подводящий канал; 3 – аванкамера; 4 – насосная станция; 5 – напорный трубопровод; 6 – напорный бассейн; 7 – отводящий канал; 8 – железнодорожный мост; 9 – труба; 10 – акведук; 11 – дюкер; 12 – сбросной канал; 13 – шлюз-регулятор; 14 и 15 – каналы; 16 – водосбросные отверстия в акведуке

По способу подачи воды каналы делят на самотечные и каналы с механическим подъемом воды (машинные). В самотечных каналах вода движется по трассе под действием силы тяжести. В тех случаях, когда уровень воды в месте ее забора из источника (водохранилища, реки) ниже, чем требуемые по условиям «командования» уровни воды в канале, по трассе канала устраивают насосные станции, осуществляющие подъем воды.

Формы и размеры живого сечения каналов и лотков

Живое сечение каналов имеет следующие формы (рис. 6.2): трапецеидальную, полигональную, прямоугольную, параболическую, полукруглую и другие более сложные.

Формой сечения каналов, наиболее распространенной по производственным условиям и условиям устойчивости откосов, является трапецеидальная и полигональная (часто используемая в судоходных каналах). Форма, близкая к прямоугольной, применяется в основном в скальных и полускальных грунтах, а параболическая – главным образом в лотках и грунтах, склонных к оплыванию.

Для распространенных заложений откоса $m = 1-4$. Следовательно, абсолютно гидравлически наивыгоднейшие сечения имеют узкую и глубокую

форму. Такие сечения не всегда удобны при производстве работ и экономически невыгодны даже при спокойном рельефе. На практике выбирают обычно $p = 2,2-5$. При этом объемы выемки увеличиваются лишь на 2-3 % по сравнению с гидравлически наивыгоднейшим сечением.

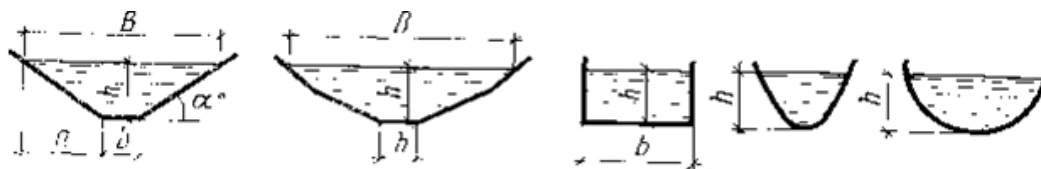


Рисунок 6.2 – Поперечные сечения каналов и лотков:

a — трапецеидальное; *б* — полигональное; *в* — прямоугольное;

г — параболическое, *д* — полукруглое

Величину заложения откоса m принимают на основании изучения устойчивых участков существующих каналов, работающих в аналогичных гидрогеологических и геологических условиях, а также на основании расчетов откосов на оползание по кривым скольжения.

Для каналов в насыпях откосы дамб устанавливают по тем же принципам, что и в земляных плотинах. Площадь живого сечения канала определяют на основе гидравлических расчетов.

Гидравлические расчеты канала и выбор допустимых скоростей течения

Гидравлические расчеты канала производят в предположении равномерного движения в нем потока. Кроме того, выполняются проверочные расчеты на неравномерные режимы движения потока в канале, возникающие при подпорах и спадах поверхности воды вследствие изменения по длине уклона, шероховатости, площади и формы поперечного сечения, а также в случае возникновения волн наполнения и излива в энергетических каналах при сбросе нагрузки. Гидравлические расчеты на неравномерный режим движения воды в канале излагаются в специальных курсах.

Расход воды Q задается исходя из водохозяйственных и технико-экономических расчетов. Уклон i зависит от отметки места водозабора, потребителя воды и расположения трассы канала, которая выбирается после

технико-экономического сравнения нескольких вариантов. В отечественной практике обычно уклоны больших самотечных каналов равны $i = 0,00008$. Во французской технической литературе рекомендуется принимать $i = 0,0001$. Во всяком случае, для заданного варианта трассы канала уклон i известен. Задачей расчета является определение площади, формы поперечного сечения канала и скорости течения воды в нем. Соображения по выбору формы сечения изложены выше. Площадь живого сечения и скорость потока определяются при решении уравнений путем подбора.

При выборе скорости течения воды следует стремиться к тому, чтобы канал не заиливался наносами, грунт его ложа не размывался и чтобы обеспечивались благоприятные гидравлические режимы по биологическим и эксплуатационным условиям. Поэтому диапазон варьирования скоростями течения воды в канале обычно весьма ограничен.

Предельные скорости по заилению

Поток воды в канале часто несет во взвешенном состоянии некоторое количество твердых частиц. Они поступают в канал либо вместе с водой, забираемой из источника, либо поток обогащается взвешенными наносами в местах, где происходит размыв грунтового ложа канала. Процесс оседания твердых частиц в текущей воде, а также процесс насыщения потока продуктами размыва грунтового ложа зависит от многих факторов, характеризующих свойства грунта и потока. В частности, он зависит от турбулентности потока и эпюры распределения скоростей. При гидравлических расчетах каналов обычно используют лишь понятие о средней скорости течения, поэтому формулы, описывающие процессы выпадения наносов, а также размыва ложа канала, являются приближенными.

Допустимую незаиляющую скорость течения воды (м/с) в деривационных каналах можно определять по эмпирической формуле И. И. Леви

$$v_{н.з} = 0,01 \frac{w}{\sqrt{d_{cv}}} \sqrt{R} \left(\frac{0,0225}{n} \right), \quad (6.2)$$

где w — гидравлическая крупность частиц взвешенных наносов среднего диаметра

d_{cv} — (скорость равномерного оседания частиц в спокойной воде), мм/с;

d_{cv} — средний диаметр преобладающий массы частиц взвешенных наносов, мм;

R — гидравлический радиус сечения канала, м;

n — коэффициент шероховатости откосов и дна канала.

Потери воды из каналов. Виды и характер потерь воды

В открытых каналах вода теряется на испарение с поверхности воды и на фильтрацию через дно и стенки русла. Потери на испарение, зависящие от климатических условий и площади открытой поверхности воды в канале, относительно малы. Они измеряются слоем воды высотой 0,34-0,8 м в год. Потери воды на фильтрацию в грунт русла канала могут достигать 50-60 % полезного расхода воды, что удорожает стоимость канала, требуя увеличения его пропускной способности. Фильтрация воды может вызвать насыщение грунта в окрестности канала, что иногда приводит к потере устойчивости облицовки внутренних откосов и наружных дамб канала. Особенно опасна фильтрация при расположении канала на косогоре.

При определенных геологических условиях на косогоре могут возникнуть даже оползни. Подъем грунтовых вод в результате фильтрации из канала иногда приводит к подтоплению и заболачиванию местности, а при просадочных грунтах (например, лёссе) — к осадке построенных сооружений и их разрушению.

Фильтрация воды из каналов имеет две стадии: свободная (без подпора) фильтрация, при которой существующий естественный (подземный) поток не влияет на фильтрационный поток из канала.

В *необлицованных каналах* в течение первой стадии происходит промачивание грунта под каналом. Фильтрационный поток, сплошь заполняя поры грунта, образует тело насыщения — область, заключенную между поверхностью канала и фронтом движения зоны промачивания. Эта стадия фильтрации длится до тех пор, пока фронт движения зоны промачивания не сомкнется с существующим уровнем грунтовых вод или поверхностью водоупора, и обычно скоротечна (сутки или недели после заполнения канала). После достижения поверхности грунтовых вод наступает вторая фаза фильтрации (с подпором) в течение которой происходит растекание грунтовых вод от канала.

В каналах периодического действия отмечается еще третья стадия, когда после осушения канала образовавшийся под ним бугор фильтрационных вод растекается в стороны по поверхности грунтовых вод.

6.2 Лотки

Устраивают вместо каналов на участках трассы со сложным рельефом (крутыми склонами, в горных условиях), с неблагоприятными геологическими условиями (неустойчивыми грунтами, выходами скал) и там, где постройка канала обходится дороже, чем устройство лотка (значительные насыпи и т. п.). Лотки представляют собой искусственные русла из различных материалов (дерева, бетона, стали); дно их располагается или на земле, или выше ее поверхности на эстакадах; движение воды в них безнапорное.

Деревянные лотки обладают следующими недостатками: они сильно деформируются, вследствие чего текут; при колебаниях уровней потока загнивают, что ограничивает срок их службы. Эти лотки целесообразно применять в районах, богатых лесом.

Деревянные рамные лотки устраивают из прямоугольных брусчатых рам, обшитых одним-двумя рядами досок и соединенных поверху деревянной или стальной затяжкой.

Рамы устанавливают на продольных балках, опирающихся на деревянные опоры. Обшивку лотка выполняют из досок толщиной 7,5 см, иногда из двух рядов со стыками вразбежку; стыки досок делают или в четверть, или со шпонкой (что лучше), или с перекрытием – планками (хуже и в фильтрационном, и в гидравлическом отношении). Дополнительно стыки уплотняют конопаткой и осмолкой.

Бетонные и железобетонные лотки устраивают прямоугольного или трапецеидального (рис. 6.3) (с крутым наклоном стен) сечения и располагают непосредственно на спланированном земляном основании или на эстакадах.

Лотки на сплошных основаниях выполняют: 1) разрезными, когда стенки

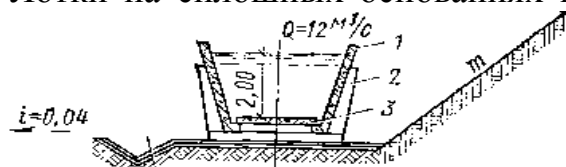


Рисунок 6.3 – Сборный железобетонный лоток: 1, 2, 3 – сборные блоки; 4 – водоотводная канава

лотка отрезаны швом от дна и работают самостоятельно как подпорные стенки, 2) неразрезными, когда весь лоток представляет в поперечном сечении монолитную конструкцию.

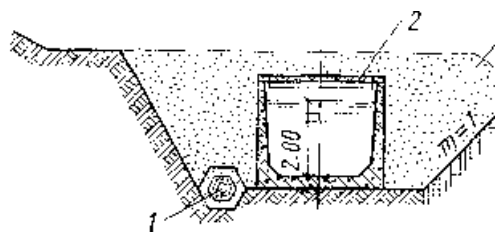


Рисунок 6.4 – Железобетонный закрытый лоток: 1 – дренаж, 2 – железобетонная плита, 3 – обратная засыпка

Лотки могут быть открытыми и закрытыми для защиты от низких температур или в санитарных целях. Закрытые лотки имеют прямоугольную (рис. 6.4) подковообразную или круглую форму; это скорее трубы с безнапорным течением.

На больших оросительных каналах применяют сборные открытые гнутоформованные лотки криволинейной (параболической, полуциркулярной) формы шириной до 1 м и длиной секций до нескольких метров.

Лотки на эстакадах имеют конструкции двух типов: 1) стенки лотка воспринимают всю нагрузку между опорами эстакады 2) корыто лотка лежит

на эстакаде, имея сплошные опоры в виде продольных балок. Стенки лотков работают как консоли; поверху иногда делаются стяжки, что несколько облегчает стенки, но усложняет конструкцию лотка.

Лотки для малых расходов воды ($0,5-5 \text{ м}^3/\text{с}$) могут изготавливаться сборными железобетонными тонкостенными (6 см) и на опорах с пролетами 3-5 м. Стыки секций на опорах очень просты; водонепроницаемость их обеспечивается прокладкой двух просмоленных канатов или резиновых жгутов.

Стальные лотки отличаются высокой водонепроницаемостью и быстротой сборки; поперечное сечение малых лотков (шириной до 6 м) делается полукруглым, больших – с вертикальными стенками, несущими нагрузку, и криволинейным днищем. Недостатками их являются быстрая коррозия стали (даже оцинкованные лотки служат не более 15 лет) и большая затрата металла. Площадь поперечного сечения лотка обычно меньше, чем в подводящем и отводящем каналах. Поэтому уклон лотка i , как правило, больше уклона канала.

ТЕМА 7 Затворы гидротехнических сооружений

План

7.1 Виды затворов

7.2 Общие условия работы

7.1 Виды затворов

Большинство поверхностных водосбросов (водосливов) и все глубинные водосбросы (водоспуски) оборудуются затворами, которые относятся к оборудованию водопропускных сооружений и предназначены для закрывания и открывания водопропускных отверстий.

Гидротехнический затвор - это подвижная конструкция для полного или частичного закрывания водопропускного отверстия гидротехнического сооружения (водосброса или водоспуска, шлюза, трубопровода, рыбохода,

гидротехнического туннеля и т.п.). Гидротехнический затвор служит для регулирования уровня и расхода воды, пропуска плавающих тел (леса, льда, наносов и пр.) в различных условиях работы гидротехнического сооружения.

Различают следующие типы гидротехнических затворов:

– **по расположению в сооружении** – поверхностные затворы, предназначенные для перекрытия водного сечения со свободной поверхностью (на гребне водослива) и глубинные затворы, предназначенные для перекрытия водного сечения, находящегося под уровнем свободной поверхности (ниже уровня верхнего бьефа);

– **по назначению** - основные (рабочие) затворы, используемые для управления расходом в нормальных условиях эксплуатации, ремонтные затворы, используемые при ликвидации повреждений и осмотрах и, как правило, перекрывающий отверстие при выравненном давлении, аварийные затворы, предназначенные для прекращения течения воды в водопропускных сооружениях или снятия напора при угрозе аварии, строительные – временные затворы, предназначенные для использования только в период строительства сооружения и капитального ремонта, запасные;

– **по материалу**, из которого изготовлен затвор, – металлические (стальные), деревянные, железобетонные, пластмассовые, комбинированные.

Кроме того, затворы могут быть:

– **переливными** – поверхностные затворы, предназначенные для регулирования расхода путем перелива воды через перекрывающую конструкцию затвора;

– **не переливными** – поверхностные затворы, конструкция которых не допускает перелива воды через них; регулирующие затворы – затворы, при помощи которых управляют расходами воды в полном диапазоне пропускной способности перекрываемого отверстия;

– регулирующие, обеспечивающие постепенное открывание и закрывание водопропускных отверстий; не регулирующие затворы – затворы, имеющие только крайние рабочие положения «открыто» и «закрото»;

– подъемные (отпускные) затворы – затворы, открывающиеся в результате передвижения вверх (вниз) перекрывающей конструкции; откидные затворы – затворы, открывающиеся в результате поворота вокруг оси, проходящей через перекрывающую конструкцию.

По материалу, из которого изготовлены затворы, различают такие их виды:

а) деревянные – применяют обычно для перекрытия отверстий с напорами до 4 – 5 м и пролетами до 3– 4 м, иногда устраивают деревянные затворы сложной конструкции для пролетов до 8– 10 м;

б) стальные – имеют наибольшее распространение, так как ими можно перекрывать отверстия значительных размеров;

в) железобетонные – ввиду значительного веса пока имеют ограниченное распространение.

В последнее время для изготовления затворов или их отдельных элементов стали применять новые, более легкие и стойкие против коррозии материалы (легкие сплавы, нейлоновую ткань и др.), которые облегчают вес затворов и позволяют применить менее мощные подъемные механизмы.

По способу действия затворы подразделяются на управляемые, приводимые в действие эксплуатационным персоналом, и автоматические, действующие без участия обслуживающего персонала.

Следует учитывать также, что на одном водопропускном отверстии обычно располагаются несколько затворов различного назначения – основные, ремонтные, запасные, аварийные.

Различают несколько десятков различных видов затворов, основными из которых являются: плоские, шандоры, сегментные, секторные, клапанные, вальцовые, с поворотными формами. Все они являются затворами открытого типа. На глубинных водосбросах используют затворы закрытого типа –

водопроводные, дисковые, игольчатые, конусные, шаровые и др., а также открытого типа – плоские, шандоры, сегментные.

Наиболее распространены поверхностные затворы механического действия благодаря простоте их устройства, надёжности действия, хорошим эксплуатационным и технико-экономическим показателям. Они перекрывают отверстия пролётом до 45 м и высотой до 20 м. Секторными и крышевидными затворами перекрывают пролёты, достигающие 50 м. Для перекрытия отверстий плотин, пролёт которых достигает 200 м и более, применяют поворотные фермы или рамы, клапанные и др. затворы.

Глубинные затворы работают под большими напорами; их открывание происходит при значительных скоростях течения воды, что сопряжено с возможностью образования вакуума и кавитации, а также вибрации затвора. Во избежание этого затвору и водоводу придаются плавные очертания, обеспечивается подвод воздуха в зону возможного вакуума и др. При напорах до 100 м и больших размерах перекрываемого пролёта применяют сегментные и плоские затворы. Для регулирования расходов воды при напорах до 800 м служат игольчатые затворы, обладающие высокими эксплуатационными качествами.

Основными элементами гидротехнического затвора являются: подвижная конструкция, опорные части (неподвижные конструкции, заделанные в тело сооружения) и уплотнения, обеспечивающие водонепроницаемость по контакту между подвижной конструкцией и кладкой сооружения. Затворы открываются и закрываются стационарными или подвижными механизмами (лебёдки, краны, гидравлические подъёмники и т.п.), под воздействием давления воды (гидротехнические затворы, например, секторные); при малых водопропускных отверстиях могут открываться вручную. Часто при маневрировании гидротехническим затвором применяют дистанционное и автоматическое управление.

Наличие затворов позволяет регулировать расходы воды, выпускаемые из верхнего бьефа (водохранилища) Q . расхода воды

7.2 Общие условия работы затворов

Выбор типа и конструкции основных затворов во многом зависит от условий, в которых они будут работать. Эти условия в значительной мере определяются назначением перекрываемых затворами отверстий, которые могут использоваться для пропуска различных расходов воды, а иногда и для пропуска льда, плавающих тел и наносов.

Наиболее важные эксплуатационные требования, предъявляемые к основным затворам, сводятся к следующему: точность регулирования подпорного уровня; безотказность в работе; водонепроницаемость контактов затвора с сооружением. Иногда принимают меры против обмерзания и примерзания затвора к сооружению или ледяному покрову в верхнем бьефе.

Воду можно пропускать или из-под щита в подъемных затворах, или поверх щита в опускных затворах, или одновременно поверх щита и под ним в сдвоенных затворах. Для пропуска льда, шуги и других плавающих тел с минимальной потерей воды наиболее приспособлены опускные, сдвоенные и клапанные затворы. При остальных типах затворов требуется полное открытие отверстия, что сопряжено с большой потерей воды.

Для пропуска донных наносов применяют подъемные затворы, а для промывки отложившихся наносов наиболее целесообразны сегментные и вальцовые затворы, которые при подъеме отходят от накопившихся перед ними наносов.

Зимой обмерзание затвора и примерзание его к пазам, а иногда и к порогу делают невозможным маневрирование им. Поэтому необходимо окалывать лед, поддерживать перед затвором «майну», утеплять затворы, применять в закладных частях электронагревательные аппараты и другие меры, обеспечивающие безотказную работу затвора зимой. Водонепроницаемость контактов затворов, с сооружением достигается постановкой специальных уплотнений.

Силы и нагрузки, действующие на затворы при расчете затворов давление льда не учитывают вследствие обязательной околки его вдоль затвора.

При выборе типа глубинного затвора учитывают: необходимость регулирования расхода воды, величину действующего напора, размеры отверстия, требуемую степень герметичности закрытия отверстий, условия пропуска строительных расходов.

Кроме того, при выборе типа затворов для перекрытия как глубинных, так и поверхностных отверстий руководствуются экономическими соображениями, сравнивая различные типы затворов.

ТЕМА 8 Другие гидротехнические сооружения

План

8.1 Водохранилища

8.2 Водозаборные сооружения

8.1 Водохранилища

Основные понятия

Водохранилище представляет собой искусственный водоем, создаваемый в долине реки напорным гидроузлом и предназначенный для регулирования стока реки в различных народнохозяйственных целях.

Для всех водохранилищ характерны:

- возрастание глубин по направлению к плотине, исключая те из них, в состав которых вошли глубокие озёра;
- весьма замедленные по сравнению с рекой водообмен и скорости течения;
- неустойчивость летней термической и газовой стратификации и некоторые другие особенности гидрологического режима.

По величине напора, создаваемого плотиной, среди крупных водохранилищ можно выделить:

- 1) **равнинные** с напором 15 – 35 м;

2) *предгорные* с напором 50 – 100м;

3) *горные* с напором у плотины 200 м и более.

Типы водохранилищ: - *речные или русловые*, которые располагаются в долинах рек. Имеют вытянутую форму, течения в них обычно стоковые; водная масса по своим характеристикам близка речным водам.

– *озёрные*, озерные водохранилища не имеют четко выраженной русловой формы и многократного превышения длины над максимальной шириной.

Образуются:

– на горных реках с большими уклонами; – на равнинных реках, когда затопливаются не только долины, а и водораздельные пространства и междуречья.

Основными параметрами водохранилища являются объём, площадь зеркала и амплитуда колебания уровней воды в условиях его эксплуатации.

Особенности гидрологического режима верхнего бьефа

1. Режим уровней воды

Водоохранилища бывают многолетнего, сезонного, годичного, недельного и суточного регулирования стока, задачей которых является перераспределение стока между маловодными и многоводными годами, между отдельными сезонами в каждом году, неделями и сутками.



Рисунок 8.1 – Распределение уровней в водохранилище

НПУ – нормальный подпорный уровень— высший подпорный уровень, который плотина может поддерживать в течение длительного времени при обеспечении нормальной эксплуатации всех сооружений. Это наивысший

проектный уровень верхнего бьефа, выше которого подъем уровня в водохранилище, как правило, не разрешается.

ФПУ – форсированный подпорный уровень – высший подпорный уровень, который можно поддерживать недолгое время в период пропуска очень больших половодий и паводков, обеспечивая сохранность сооружений.

УМО – уровень мёртвого объёма – минимальный уровень, допустимый в условиях нормальной эксплуатации. Суммарно они составляют общий (полный) объем водохранилища

Быстрое наполнение и сработка водохранилищ создают резкие колебания уровней. Интенсивность этих колебаний зависит от соотношения объема притока и расходования воды из водохранилища. На крупных водохранилищах колебания уровней вследствие изменения условий притока и расходования воды осуществляются в течение годового цикла, при этом уровни достигают наивысшей отметки весной при заполнении водохранилища и снижаются до наименьших отметок к концу зимы.

2. Накопление наносов в результате чего наносы, влекаемые потоком, частично осаждаются на дно, сортируясь по крупности. Часть емкости водохранилища ниже так называемого уровня мертвого объема (УМО) используется для отложения наносов. Заиление водохранилищ происходит также в результате обрушения берегов.

Отрицательным последствием занесения водохранилища являются:

- затруднения, создаваемые судоходству, особенно в хвостовой части водохранилища (обмеление);
- подъем уровня воды в водохранилище, связанный с повышением отметки его дна;
- увеличение площади затоплений и подтоплений в связи с этим;
- дополнительные эксплуатационные затраты, связанные с дополнительными инженерными мероприятиями.

3. Волновой режим. Одной из важнейших особенностей режима водохранилищ является развитие на их поверхности ветрового волнения. На

них формируются волны высотой 3-4 м.

На водохранилищах в результате волнообразования становятся более сложными условия судоходства:

- требуется более прочное крепление судов;
- возникает необходимость в устройстве портов – убежищ во время шторма.

Кроме того, волны разрушают берега, переформировывают котловины водохранилищ, уполаживая их откосы и образуя пляжи; смытый грунт, попадая в водохранилище, уменьшает его полезную емкость.

Наконец, при встрече с вертикальными или откосными гранями гидросооружений волны оказывают на них дополнительное к гидростатическому, так называемое волновое давление

4. Биологический режим. Гидрогеологическая обстановка водохранилищ и подпертых бьефов весьма сильно влияет на их биологический режим. Затопление значительных площадей сельскохозяйственных угодий приводит к тому, что в водохранилище оказываются огромные запасы органических веществ и зообентоса.

Состав рыбного стада существенно меняется. Породы рыб привыкшие к проточной воде рек, заменяются рыбами озерного типа.

При строительстве гидроузлов на равнинных реках создаются водохранилища со значительными площадями мелководий.

Мелководья играют большую роль в так называемом цветении воды и приводят к ухудшению качества воды, так как интенсивно развиваются сине-зелёные водоросли (СЗВ). Вредные продукты их разложения усиленно поглощают кислород, вследствие чего происходят иногда летние заморы рыбы. Отмирание водорослей с последующим биологическим загрязнением водохранилищ по вредным последствиям сопоставимо с загрязнением рек и озер промышленностью.

5. Термический режим водохранилищ во многом обуславливается гидрологическими факторами (малой скоростью течения, значительными

глубинами и т. д.) и приближается по своим показателям к режиму проточных озер. Особенностью его является то, что водная масса сохраняет тепловую энергию дольше.

8.2 Водозаборные сооружения

Особенности устройства водоприёмных сооружений берегового типа

Береговые сооружения проектируются при высоком крутом берегу реки, наличии больших глубин у берега, высоких требованиях к надежности забора и подачи воды и при значительных колебаниях уровней воды.

Водозабор может быть расположен непосредственно у берега (при колебании уровней до 10 м), выдвинут в русло и соединён с берегом дамбой (при колебании уровней более 10 м) или вдвинут в берег и соединён с рекой каналом или ковшом (при незначительных глубинах реки и тяжёлых шуголедовых условиях).

Они представляют собой массивные колодцы, располагаемые на берегу, принимающие воду непосредственно из источника водоприемными окнами.

Колодец водозабора устраивается из монолитного железобетона и может выполняться следующими способами:

- в осушенном котловане, огражденном перемычками от реки и шпунтами от берега;
- при скальных породах, плотных глинах, сланцах – в котловане, но без шпунтов;
- опускным способом (в песках, супесях) с предварительной насыпью, защищенной от размыва;
- методом «стена в грунте»;
- кессонными подводными работами (для очень крупных водозаборов).

При опускном способе форма колодца в плане круглая – при этом будет минимальная площадь поверхностей трения стенок о грунт. При других способах строительства колодцы устраиваются квадратными, прямоугольными или сложной формы в плане со скруглениями для обтекания водой, льдинами. Для надежности колодец разбивается глухой перегородкой не менее чем на две

секции, при выходе из строя одной из них вторая должна обеспечить прием не менее 70% полной производительности водозабора.

В общем случае береговой водозабор (рис. 8.3) представляет собой железобетонную камеру шахту *1* прямоугольной, круглой или овальной формы в плане. Наиболее широко используется круглая форма, которая наиболее удобна при сооружении водозабора опускным способом. В скальных грунтах для водозаборов большой производительности (более 6 м³/с) может применяться прямоугольный колодец.

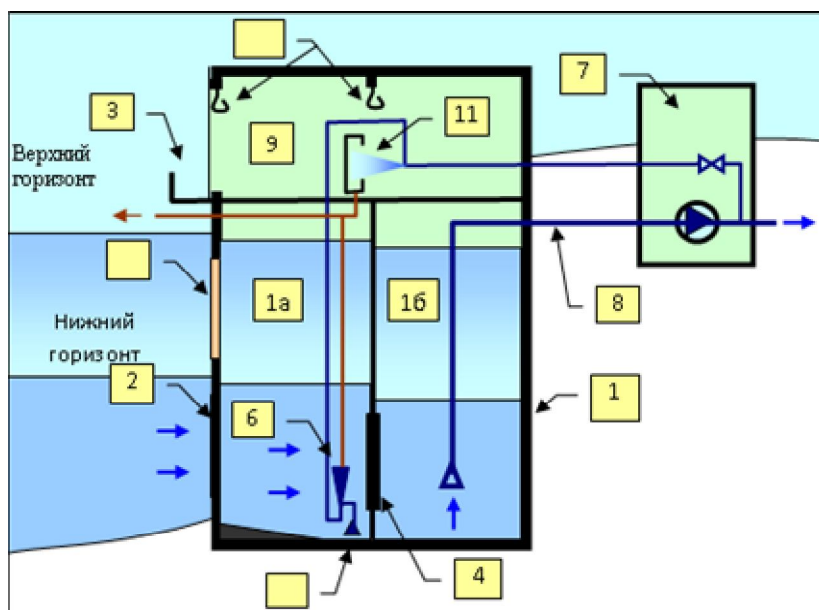


Рисунок 8.3 – Береговой водозабор

Для обеспечения бесперебойности работы, для периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприёмный колодец *1* должен быть разделен продольной перегородками на несколько (не менее 2) параллельно работающих секций. Часто число секций принимается равным числу устанавливаемых насосов или количеству всасывающих трубопроводов. Колодец также делится перегородкой на два отделения: водоприёмное *1а* и водозаборное (всасывающее) *1б*. В передней, обращённой к реке, стене водоприёмного отделения имеются водоприёмные окна 2, с установленными в них решётками для задержания крупных предметов (брёвна, щепки и т. п.).

Для забора из реки наиболее чистой воды окна располагают как можно ближе к поверхности воды, но не настолько, чтобы в них попадали плывущие по поверхности загрязнения. Поэтому, при значительных колебаниях уровней воды в реке окна устраивают в несколько ярусов (обычно два яруса). При заборе воды через нижние окна верхние окна закрывают щитами 2б (аналогично поступают при заборе воды через верхние окна), которые предотвращают попадание загрязнённой воды в водозабор. Водоприёмные окна 2 с решётками и водоприёмное отделение 1а образуют водоприёмное устройство (водоприёмник), которое постоянно доступно для обслуживания, что гарантирует бесперебойную работу.

Для наблюдения за состоянием реки и обслуживания решёток с наружной стороны колодца устраивается балкон 3.

Для обеспечения необходимой надёжности степени подачи воды в систему береговой колодец делится на две секции, которые могут работать вместе либо раздельно. При этом появляется возможность вывести из работы одну из секций при аварии или для ремонта.

Между водоприёмным 1а и водозаборным 1б отделениями имеется окно с сеткой 4. Сетка обеспечивает предварительную очистку воды (мелкий мусор, водоросли, мелкая рыба и т. п.). При лёгких условиях забора воды до производительности $1 \text{ м}^3/\text{с}$ применяются плоские съёмные сетки. Для других условий (средние или тяжелые) их применение ограничено. При производительности более $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и в более сложных условиях водозабора применяются вращающиеся сетки. Дно водоприёмного отделения выполняется с уклоном в сторону приемка 5, который служит для сбора мелкого мусора, прошедшего сквозь решётки. Из приемка 5 этот мусор удаляется эжектором 6 за пределы водозаборного сооружения. Для работы эжектор подключается к напорному трубопроводу насосной станции первого подъёма 7. В верхней части берегового колодца выделяется помещение, в котором размещается оборудование для управления водозабором. Там же располагается подъёмно -

транспортное оборудование 10 для подъёма решёток и сеток, а также устройство для промывки сеток 11.

Компоновка водозабора берегового типа

Насосная станция может быть совмещена с береговым колодцем или располагаться в отдельном здании. Совмещение берегового колодца и насосной станции в одно сооружение существенно упрощает обслуживание водозабора, повышает надёжность его работы, является практически необходимым в случае применения насосов с малой высотой всасывания и при значительной амплитуде колебаний уровней воды в реке. Однако, при слабой несущей способности береговых грунтов (пески, супеси, суглинки) насосную станцию и береговой колодец необходимо строить отдельно. Совмещенные водозаборы удобны с точки зрения эксплуатации (все оборудование находится в одном месте). Они более экономичны и больше распространены на практике. Совмещенная компоновка не рекомендуется при неустойчивых грунтах, так как вибрация насосных агрегатов может вызвать крен берегового колодца.

Для удешевления строительства водозабора можно:

- 1) применить вертикальные насосы (или даже артезианские) с меньшими габаритами в плане (при этом не всегда можно подобрать требуемые по расчету насосы);
- 2) уменьшить заглубление насосной станции, что возможно только на скальных основаниях.

Раздельная компоновка позволяет защитить насосную станцию от затопления, уменьшает габариты берегового колодца, но при этом; насосы оказываются не под заливом; эксплуатирующий персонал разобщен; удлиняются всасывающие линии и растут потери напора в них.

При раздельной компоновке водозаборов насосная станция располагается по возможности ближе к береговому колодцу, но за пределами призмы обрушения. Всасывающие линии, пролегающие в зоне возможных деформаций грунтов, для облегчения ремонта рекомендуется располагать в галереях.

Возможно устройство прорезей в дне для обеспечения больших глубин. Их достоинство - доступность водоприемных отверстий, недостаток - более мутная вода у берега.

Особенности устройства водоприемных сооружений руслового типа

Водозаборные сооружения берегового типа (русловые водозаборы) проектируют при пологих берегах и дне реки, когда требуемые для приёма воды глубины находятся на значительном расстоянии от берега (рис. 8.4).

Состоят из трех основных элементов водоприёмного устройства оголовка 1, располагаемого непосредственно в русле реки или канала и удаленных от берега; береговых колодцев 4 и связывающих их самотечных (сифонных) линий 3. Обеспечивают при отсутствии специальных мероприятий только II-ю и III-ю степень надежности забора воды. Для надежности колодец секционируется, устраивается не менее двух оголовков и самотечных линий.

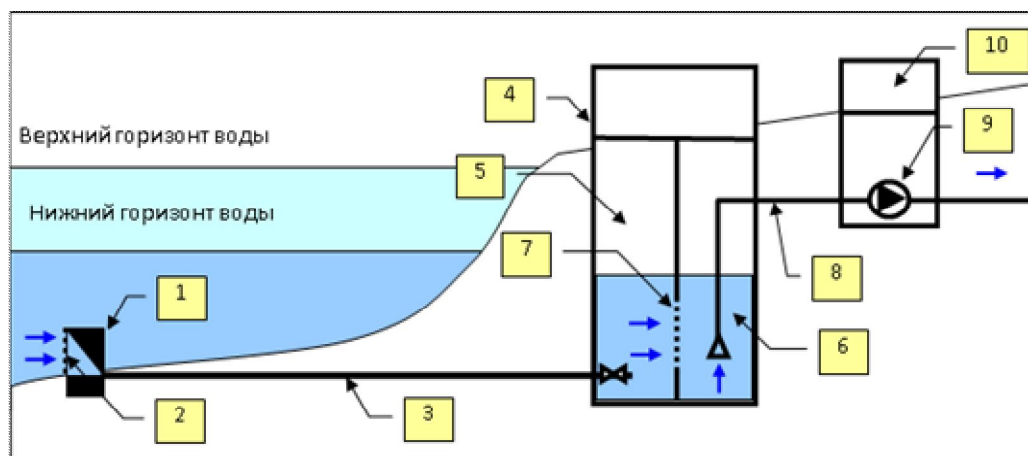


Рисунок 8.4 – Русловой водозабор

Оголовок предназначен для размещения водоприемных окон и закрепления в русле реки концов самотечных (сифонных) трубопроводов. Их размещают под уровень воды, поэтому они постоянно не доступны для обслуживания (особенно во время ледостава и ледохода), что при средних и тяжёлых условиях водозабора создаёт угрозу снижения производительности или прекращения поступления воды в водозабор. Забор воды в оголовки производится через решётку 2. Решётка предотвращает попадание в систему

крупного мусора. Для защиты системы от попадания в неё рыбы на место решётки может быть установлена кассета из пористого материала. Из оголовка вода по самотечным (или сифонным) водоводам 3 поступает в водоприёмное отделение 5 берегового колодца 4. Из водоприёмного отделения вода через сетку 7 поступает в водозаборное отделение 6.

Сетка обеспечивает предварительную очистку воды от мелких загрязнений (водоросли, мелкая рыба и т. п.). Из водозаборного отделения вода по всасывающим трубопроводам 8 откачивается насосами 9 насосной станции первого подъёма 10.

В береговом колодце (приёмном отделении), как в отстойнике, выпадают из воды крупные взвеси, а по уровню воды в нем легко контролировать работу самотечных (сифонных) и всасывающих труб.

Как правило, затопленный водоприёмник соединяется с береговым колодцем самотечными водоводами. Однако, при большой глубине берегового колодца, устраиваемого в скальных или водонасыщенных грунтах, экономически целесообразно (из-за значительной стоимости земляных работ) устройство сифонных водоводов. Максимальная высота от НГВ до точки перелома сифонной линии – 8,0 м. Для запуска таких линий в работу требуется создание вакуума в верхней точке трубы. Зарядка сифона производится вакуумированием трубопровода вакуум-насосом. Надежность работы таких линий снижается, так как при образовании трещин, свищей, неплотностей стыков вакуум срывается и прекращается прием воды. Поэтому степень надежности приема воды русловыми водозаборами с сифонными линиями ниже на единицу, чем самотечными.

Самотечные или сифонные водоводы внутри берегового колодца оканчиваются задвижками или затворами.

Для надёжной работы руслового водозабора необходимо предусматривать промывку самотечных или сифонных линий. Обычно применяется обратная промывка подачей воды в эти трубопроводы из напорной линии насосов. Либо применяется импульсная промывка.

При значительных колебаниях уровней воды в реке и широкой пойме русловые водозаборы могут иметь несколько оголовков и соединительных водоводов, расположенных в нескольких ярусах. Однако чаще в таких условиях устраивают комбинированные водозаборы.

Комбинированные водозаборы позволяют в наилучшей степени приспособить сооружения к профилю реки в выбранном створе и получить надёжное и вполне экономичное решение.

Компоновка водозабора руслового типа

В зависимости от взаимного расположения берегового колодца и насосной станции русловые водозаборы бывают совмещённого и отдельного типа компоновки.

Для обеспечения необходимой степени подачи воды в систему береговой колодец делится на две секции (рис. 8.1), которые могут работать вместе либо отдельно. При этом появляется возможность вывести из работы одну из секций при аварии или для ремонта. Кроме того, дублируются оголовки с решётками, самотечные линии, сетки, всасывающие трубопроводы и насосы.

Степень надёжности забора воды русловыми водоприемниками можно повысить на единицу;

1) при размещении оголовков в самопромывающемся затопляемом ковше – для крупных ответственных водозаборов;

2) при подводе к водоприемным отверстиям теплой воды в количестве не менее 20 % от производительности (экономически оправдано только для водозаборов ГРЭС, ТЭЦ, АЭС, металлургических заводов);

3) при автоматической обратной промывке самотечных линий (наиболее реальное мероприятие для рядовых водозаборов).

Классификация водоприемников поверхностных водозаборов

Водоприемник (оголовок) – гидротехническое сооружение, расположенное в водоеме (водотоке), предназначенное не только для приема воды из источника,

но и для укрепления и защиты от повреждений концов трубопроводов в русле источника.

Классификация водоприемников:

1. *По способу приема воды:* открытые поверхностные, глубинные, донные, фильтрующие, инфильтрационные, комбинированные.

2. *По месту расположения:* береговые, русловые.

3. *По расположению относительно уровня воды:* затопленные, затопляемые при высоких уровнях воды, незатопляемые.

4. *По расположению водоприемных отверстий и направлению втекающего потока воды :*

а) с отверстиями – горизонтальными, вертикальными, наклонными;

б) с втеканием – лобовым, боковым, низовым;

в) с приемом воды – односторонним, двусторонним.

5. *По конструкции:* ряжевые, свайные, трубчатые, бетонные, бетонные в металлическом кожухе, железобетонные, с вихревыми камерами.

6. *По числу секций:* двухсекционные, трехсекционные и более.

Незатопляемые оголовки наиболее надежны, поскольку всегда доступны для обслуживания, однако стоимость их значительно больше, чем затопленных оголовков. Особенно дороги русловые незатопляемые оголовки, в частности, они, должны быть рассчитаны на статическое и динамическое давление льда. Поэтому затопленные оголовки – наиболее распространенная конструкция. Применяют для повышения надежности, в основном на водохранилищах и озерах.

Затопляемые оголовки недоступны для обслуживания только в отдельные периоды времени – половодье, паводок. Однако эти периоды непродолжительны. Кроме того, в это время не бывает осложнений с обмерзанием решеток.

Ориентация отверстий влияет на засорение решеток сором, водорослями, шугой. Различно и поступление донных наносов, по-разному происходит промывка решеток. Дешевые, не мешают транспорту и лесосплаву, не

воспринимают нагрузок от ледохода и ледового покрова. Они имеют самое широкое распространение.

Горизонтальные отверстия могут располагаться на некоторой высоте над дном, и вода может втекать сверху вниз или снизу вверх, а при расположении отверстий у дна втекание может происходить только сверху. В горизонтальных водоприемниках с втеканием сверху труднее удаляется сор с решеток, могут образовываться водовороты, воронки, из-за чего в водоприемник поступает вода с сором из поверхностного слоя. Донные водоприемники с втеканием сверху и расположенные на небольшой высоте над дном устраивают вынужденно при малых глубинах воды в источнике.

При лобовом приеме воды водоприемные отверстия забиваются сором и шугой, а при низовом приеме – донными наносами

Наиболее распространен боковой прием воды, с отверстиями в вертикальной плоскости, при котором можно создать благоприятные условия забора воды. Для хорошего обтекания водоприемника его лобовую грань очерчивают по эллипсу, либо делают полигональной.

Оголовки в последних конструкциях в большинстве случаев имеют вихревую камеру. Основное ее назначение - обеспечить незаиливание сборных внутренних труб оголовка. При такой конструкции поток внутри сборной трубы движется тангенциально, смывая выпадающие на дно загрязнения.

Конструкция оголовка зависит от многих факторов – расход воды, глубина, устойчивость русла, геологические, гидротермические условия (шуга). Влияют и водохозяйственное использование реки (судоходство, лесосплав), а также местные условия (например, ряжевые оголовки применяют в богатых лесом районах) и т.п.

При выборе места размещения оголовка руководствуются следующими требованиями:

- 1) водоприемник должен быть защищен от повреждения льдом, плотами, якорями, место установки ограждается бакенами.

2) низ оголовка должен возвышаться над дном реки не менее, чем на 0,5 м, верх – на расстоянии не менее, чем на 0,2 м от нижней кромки льда и не менее 0,3 м ниже ложбины волны.

Оголовки выносят в русло реки на расстояние, при котором выполняются все эти требования. Заглубление оголовка в дно должно быть не меньше глубины возможного размыва дна. При этом учитывают, что верх самотечного трубопровода должен заглубляться под дно не менее чем на 0,5 м. Обычно заглубление оголовка в дно – 1,0÷1,5 м. При выборе места для оголовков учитывают геологические условия.

В водохранилищах водоприемники располагают на глубинах не менее трехкратной высоты волны при шторме и минимальном уровне воды.

Подающие линии русловых водозаборов

Линии, подводящие воду из оголовка в береговой колодец, бывают самотечные и сифонные. Число этих линий должно быть не меньше 2, обычно число линий равно числу секций берегового колодца. Сифонная линия прокладывается на значительно меньшей глубине, чем самотечная. Однако надежность водозабора с сифонными линиями меньше, чем при самотечной линии. Объясняется это тем, что при повреждении сифонной линии вакуум в ней срывается, и подача воды прекращается. При самотечных трубах это не происходит. Поэтому сифонные линии допускается устраивать в водозаборах II и III категорий, применение таких линий для I категории должно быть обосновано.

Для запуска сифонной линии в работу закрывают задвижку на нисходящей ветви сифона, запускают вакуум-насос, затем, после заполнения всей трубы водой (из вакуум-насоса поступает вода) отключают вакуум-насос и открывают задвижку. К сифонным линиям предъявляют повышенные требования по герметичности стыков.

Прокладываются самотечные линии на суше и возле уреза воды, ниже глубины промерзания; в русле – над дном свободно или в обсыпке щебнем

для защиты от истирания и повреждения, ниже дна (на 0,5 м) с подъемом к береговому колодцу – при этом из трубы легко удаляется воздух. В противном случае пропускная способность линии может уменьшиться. Для предотвращения отложений наносов, сора и шуги самотечные линии трассируют без резких поворотов в плане и по вертикали.

Самотечные линии монтируют одним из способов:

- в открытом котловане;
- спуском в траншею под воду;
- методами бестраншейной прокладки.

В зависимости от способа прокладки водоводы выполняют из стальных, железобетонных, чугунных или асбестоцементных труб. Стальные трубы они удобны для строительства, но подвержены коррозии, требуют антикоррозионной изоляции. Трубы свариваются в плеть, закупориваются пробками, транспортируются на место укладки, затапливаются и опускаются в траншею, устроенную земснарядом. Недлинные трубы можно прокладывать продавливанием, горизонтальным бурением. Стальные трубы снаружи защищают весьма усиленной изоляцией, а внутри – цементом или другим покрытием. Практика показала, что незащищенные трубы изнутри покрываются толстым слоем отложений, снижающим пропускную способность труб (до 40 %).

Чугунные, железобетонные, асбестоцементные, эти трубы не корродируют, но их трудно укладывать (трудоемкая стыковка).

Поэтому перспективно использование некорродирующих труб (полиэтилен, поливинилхлорид и т.п.).

Диаметры труб определяются скоростями движения воды. С одной стороны скорости должны быть небольшими, чтобы не было больших потерь напора, с другой стороны скорости должны быть достаточно большими, чтобы не было отложения наносов.

По СНиП скорости воды в самотечных линиях должны быть в пределах 0,7...2,0 м/с, в зависимости от категории водозабора и диаметра

трубы. Эта скорость должна быть незаиляющей и в общем случае зависит от производительности водозабора, диаметра трубы и крупности наносов.

В процессе эксплуатации русловых водозаборов, особенно в период паводка, возможно засорение самотечных линий отложениями (ил, песок), вследствие чего уменьшается поперечное сечение водоводов, увеличиваются потери напора, и снижается подача воды.

Промывка подающих линий и оголовков

Необходимость промывки этих элементов водозабора обусловлена тем, что по ним транспортируется неочищенная вода. Кроме того, во многих случаях решетки и трубы могут зарастать водорослями, моллюсками и т.п.

Прочистка самотечных линий может осуществляться:

1) механическим способом (совками, скребками и т.п. по типу прочистки канализационных коллекторов), метод связан с длительным выключением водоводов из работы, трудоемкий, но при больших диаметрах предпочтителен;

2) гидравлическим методом – созданием повышенных скоростей движения воды в трубе, промывной способ наиболее распространен.

Известно, что для разрушения и выноса отложений нужны скорости, на 25-50 % превышающие нормальные.

Способы промывки подающих линий и оголовка:

- прямая;
- обратная;
- импульсная.

При **прямой промывке** одну из подающих линий отключают, насосы работают в нормальном режиме, и весь расход движется по оставшимся в работе линиям. Из-за этого уровень в колодце падает, увеличивается перепад отметок в источнике и в колодце, то есть создается увеличенный напор на работающей трубе, вследствие чего скорости движения воды в ней

возрастают, смывая загрязнения в береговой колодец, откуда удаляются эжектором.

Достоинства этого способа:

- 1) простота эксплуатации;
- 2) отсутствие специальных устройств для промывки;
- 3) подача потребителю при промывке проектного расхода.

Недостатки:

- 1) не промываются решетки (от мусора и шуги) (вода прижимает задержанные загрязнения к решетке);
- 2) загрязнения из трубы выносятся в береговой колодец, и часть из них поступает в очистные сооружения, увеличивая нагрузку на них;
- 3) промывка невозможна при низких уровнях воды в реке, то есть не обеспечивается надежность.

Поэтому в большинстве проектов предусматривают и обратную промывку.

При **обратной промывке** к подающим линиям подводят дополнительный трубопровод от насосной станции 1 подъема, связывающий напорные водоводы с самотечными линиями. Этот трубопровод может подключаться как внутри, так и вне колодца.

При промывке одна из самотечных линий отключается и по ней в обратном направлении подается вода из напорных водоводов. Во второй самотечной линии происходит прямая промывка.

Достоинства обратной промывки:

- 1) одновременная промывка решеток;
- 2) возможность отбрасывать шугу от входных окон (автоматическая обратная промывка обеспечивает русловому водозабору 1 степень надежности забора воды);
- 3) промывка может быть осуществлена в любое время (обеспечивается надежность);
- 4) загрязнения уносятся промывным потоком в реку.

Недостатки:

- 1) сложность эксплуатации;
- 2) большие капиталовложения на устройство промывного трубопровода;
- 3) снижение подачи воды потребителю;
- 4) потери воды.

В связи с этим обратная промывка рекомендуется при диаметре линий до 500 мм включительно. При больших диаметрах следует ориентироваться на прямую промывку.

Обратная промывка эффективнее прямой, однако, как показал опыт эксплуатации, решетки оголовка промываются недостаточно. Объясняется это тем, что площадь решеток в 10 и более раз превышает площадь подводящих труб, поэтому вода промывает часть этой площади, и далее поступает в эту промытую зону. Остальная же часть решеток не промывается. Поэтому была предложена импульсная промывка, при которой возбуждается волна давления, воздействующая на всю площадь решетки.

Для импульсной промывки в береговом колодце на каждой подающей линии устанавливается вертикальная колонна (труба), закрытая сверху, подключенная к вакуум-насосу и снабженная клапаном (усилие на рычаге от 10 до 30 кг) впуска воздуха). После закрытия задвижки на подводящей трубе включают вакуум-насос. Уровень воды в колонне повышается и после ее наполнения вакуум-насос выключается и открывается клапана впуска воздуха. Столб воды в колонне быстро движется вниз и в сторону реки в самотечной линии, создавая волну положительного давления, воздействующей на решетку. По инерции уровень воды в стояке опускается ниже равновесного и над водой самопроизвольно создается вакуум, под действием которого вода поднимается по стояку вверх, а в самотечной линии движется к колодцу. Таким образом, в трубах создается затухающее колебательное движение воды, эффективно очищающее самотечные линии от отложений, а решетки от скоплений сора и шуги. При необходимости зарядку колонны повторяют.

При обратной промывке труб больших диаметров применяется гидропневматический способ, при котором в водоводы подается сжатый воздух от компрессора. Создаются волны и пробки, пульсации давления и расхода, вибрации, эффективно очищающие самотечные линии.

В последних типовых проектах, как правило, предусмотрены и обратная и импульсная промывки.

Защита водозаборов от сора

Поверхностные источники водоснабжения особенно в период паводков содержат большое количество загрязнений. Крупные загрязнения представляют собой стволы и ветки деревьев и кустарников, щепки, пластиковые бутылки и т.п. Мелкие загрязнения – мелкий мусор, остатки растений, водоросли и т.п. Как крупные, так и мелкие загрязнения могут вызвать нарушение работы насосных станций, очистных сооружений и водоводов. Поэтому система водоснабжения должна быть защищена от попадания в неё различных загрязнений из источника.

Для грубой предварительной механической очистки воды от крупного мусора водоприёмные отверстия оборудуют решётками. Для удаления из воды мелкого мусора водозаборные сооружения оборудуют сетками.

Решётки представляют собой сварную раму из уголковой стали или швеллера с стержнями из полосовой (5 на 60 мм) или круглой (6–12 мм) стали. Расстояние между стержнями решётки обычно принимается 50–100 мм. Размеры решёток колеблются в пределах от 400 на 600 мм до 1250 на 2500 мм. Прутья могут представлять собой арматурную сталь диаметром 6 – 20 мм (при небольшом размере решеток) или прямоугольные прокатные профили. Оптимальным является сечение прутьев с округлениями со стороны движения потока, при этом будет минимальным гидравлическое сопротивление. Сверху к каркасу приваривается петля для их подъема, снизу крепится деревянный брус-амортизатор для мягкого опускания решетки на порог окна.

В передней стенке колодца предусматриваются направляющие из швеллера, в которые устанавливается решётка. Решётка опускается в район

водоприёмного окна специальным подъёмным механизмом, крюк которого цепляется за скобу в верхней части решётки. Для того чтобы в водоприёмные отверстия всегда были перекрыты решёткой, направляющие дублируются.

В зависимости от характера загрязнения решётки для её очистки применяются различные очистные механизмы и устройства: грейферы, ковши, грабли, специальные тралы. Оборудование для очистки решёток прикрепляется к тросам подъёмных механизмов или устанавливается на специальных очистительных машинах, которые передвигаются вдоль фронта решёток.

Для чистки решеток от загрязнений они поднимаются по пазам в павильон берегового колодца и очищаются граблями вручную. На время чистки проемы перекрываются щитовыми затворами. Решетки оголовков очищаются граблями с лодок (при малой глубине, слабом течении и небольшом количестве загрязнений) или водолазами (при других условиях).

Сорудерживающие сетки облегчают работу очистных, сооружений, защищают трубы и насосы от засорения, при технической воде позволяют отказаться от очистки. Они предназначены для задержания мелких примесей типа листьев, травы, щепок. При фильтрующих оголовках сетки могут не устраиваться.

Сетки устанавливаются в окна перегородки между водоприёмным и водозаборным отделениями берегового колодца. Они могут быть двух типов плоские (съёмные) и вращающиеся.

Плоская (съёмная) сетка применяется при малой производительности (до 1 м³/с) и малой мутности воды. По конструкции они подобны решеткам. Размеры каркаса (размеры перекрываемого окна) от 800х1000 мм до 2000х3000 мм. Конструкция: к каркасу крепятся два полотна: рабочее со стороны набегания потока воды и поддерживающее - под рабочим. Плоская (съёмная) сетка имеет раму из уголковой стали с натянутой на него рабочей сеткой. Рабочая сетка изготавливается из коррозионно-стойкого материала (нержавеющая сталь, бронза, латунь или капрона и т. п.) с размером ячеек от 2х2 до 5х5 мм из проволоки толщиной 1 – 2 мм.

Рабочая сетка опирается на поддерживающую сетку (из стальной оцинкованной проволоки 2 – 3 мм с ячейками 20 х 20 или 25 х 25 мм), которая предотвращает её разрыв под действием давления воды или загрязнений. Сетки крепятся к раме металлическими полосами и зажимаются болтами. Сетки также как и решётки устанавливаются в специальные направляющие из швеллера. Очистка плоских сеток производится вручную. Для этого сетку поднимают по пазам в верхнюю часть водозаборного сооружения подъёмным механизмом, устанавливают в специальный поддон и промывают струями воды из брандспойта от напорного технического водопровода. Для перехвата струй с загрязнениями устанавливаются ванны-экраны, от которых грязная вода отводится по лоткам или трубам. Эта операция довольно трудоемкая, поэтому и применяется при малой производительности водозаборных сооружений.

Для водозаборов большой производительности и при заборе воды из сильно загрязнённых рек применяют ленточные вращающиеся сетки, промывка которых полностью механизирована.

Подвод воды на вращающиеся сетки и отвод воды из них производится различными способами. Характеристика вращающихся сеток приведена в таблице.

Вращающиеся сетки по конструкции бывают каркасными и бескаркасными. Вторые проще, легче, дешевле, но ненадежны, поэтому чаще применяют каркасные.

Вращающаяся каркасная сетка представляет собой бесконечную замкнутую ленту (типа транспортной), состоящую из отдельных небольших секций в виде рамок с натянутыми на них сетчатыми полотнами (наподобие плоских съёмных сеток), соединённых шарнирами. Секции крепятся к цепи натянутой на верхнюю и нижнюю приводные звёздочки, которые вращаются электродвигателем. Концы шарниров перемещаются в направляющих пазах каркаса, шарниры переламываются на верхних (приводных) и нижних (натяжных) звёздочках. В рабочем состоянии сетки

неподвижны, вращение от электропривода включается только для чистки. Скорость движения полотна при этом 10...100 мм/с.

Одновременно подводится промывная вода к устройству, создающему плоскую ножевую струю, перехватываемую кожухом. Для улучшения чистки полотна его загрязненная поверхность дополнительно очищается капроновой вращающейся щеткой в виде вала. Чистка сеток может быть автоматизирована – при предельном засорении полотна в нем создается предельный перепад уровней, фиксируемый датчиками уровня.

Подается сигнал на включение электропривода и электровентиляции на подводе промывной воды. Загрязнённая вода отводится за пределы первого пояса зоны санитарной охраны водозабора. В бескаркасных сетках сеточное полотно непосредственно крепится к цепи.

При борьбе с водорослями различают три основных группы методов.

Биологические методы:

- заселение водоемов моллюсками (двустворчатые унии, анодонты), которые поедают водоросли;
- устройство биопоглотителей в виде пластмассовых решеток с грузилами у дна и поплавками у поверхностей, которые концентрируют на себе водоросли;
- разведение в водоемах растительноядных рыб (белый амур, толстолобик);
- использование вирусов и фагов, поражающих сине-зеленые водоросли (метод на стадии исследований).

Физические методы:

- ультразвук разрушает водоросли, но они остаются в воде во взвешенном состоянии, поэтому целесообразно это делать перед коагуляцией;
- обработка электротоком; при этом водоросли отделяются от воды и направляются к аноду (метод дорогой и малоприменим).

Химические методы:

- **Купоросование.** Для гибели сине-зеленых водорослей достаточна доза медного купороса 0,2 – 0,5 мг/л. При этом медь извлекается из растворов и соединяется с белками водорослей. Поэтому вода считается безопасной для людей (в питьевой воде *С_и* содержание меди не должно превышать 0,1 мг/л). Однако применяемые технологии ввода медного купороса (распыление авиацией, растворение из мешков с лодок) неэкологичны и неэффективны. К недостаткам купоросования относятся также:

- 1) дозирование примитивно и нельзя создать равномерную концентрацию;
- 2) купорос губителен для мальков;
- 3) водоросли поедаются рыбами, рыбы человеком, идет накопление меди в трофической цепи.

Купоросование питьевых и рыбопродуктивных водоемов нежелательно.

- **Хлорирование.** Смертельная для сине-зеленых водорослей доза хлора составляет 0,5 – 1,0 мг/л. Перехлорирование проводят на водоочистной станции, которое при этом убивает водоросли. После этого они коагулируются и садятся с хлопьями на дно отстойника. Но многие флоатируют (богатые жирами) и в отстойниках не задерживаются, для их удаления нужны флотаторы или процеживание на микрофильтрах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриєв А.Ф., Хлапук М.М., Шумінський В.Д. та ін. Гідротехнічні споруди: Підручник для вузів. – Рівне : РДТУ, 1999. – 328 с.
2. Кириенко И.И., Химерик Ю.А. Гидротехнические сооружения: Учебное пособие. – Київ : Вища школа, 1987. – 154 с.
3. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. Гидротехнические сооружения: Учебник. – Москва : Колос, 1968, 464 с.
4. Гидротехнические сооружения: Учебник / Под ред. М.П. Розанова. – Москва : Агропромиздат, 1966. – 432 с.
5. Благодарна Г.І., Крамаренко Л.В., Ярошенко Ю.В. Гідротехнічні споруди. Конспект лекцій. – Харків : ХГАГХ, 2011.
6. СН иП 2.06.01-86. Гидротехничесике сооружения речные. Основные положения проектирования. – Москва : Стройиздат, 1985.
7. СНИП 2.06.06-86. Плотины из грунтовых материалов. Москва : Госкомитет по делам строительства, 1985.
8. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые, от судов) – Москва : Стройиздат, 1983.
9. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недрыш. – Москва : Стройиздат, 1983. – 543 с.
10. Волков И.М. Проектирование гидротехнических сооружений: Учебное пособие. – Москва : Колос, 1977. – 304 с.

Навчальне видання

БЛАГОДАРНА Галина Іванівна,
БУЛГАКОВА Олеся Вікторівна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

*(для студентів 2 и 3 курсів денної та заочної форм навчання
напрямку підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси))*

(Рос. мовою)

Відповідальний за випуск *С. С. Душкін*

Комп'ютерний набір *О. В. Булгакова*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2013, поз. 21Л

Підп. до друку 23.06.2015
Друк на ризографі.
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 4,4
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.